

Estudi del desplegament de la xarxa de banda ampla rural de la Generalitat de Catalunya

Estudi tecnològic i organitzatiu del Projecte Banda
Ampla Rural i propostes de millora

Jordi Bigorra

Juny 2009

Índex

Resum executiu	1
1 Introducció	2
1.1 Banda ampla en el passat	2
1.2 Banda ampla a l'actualitat	2
1.3 Servei Universal	4
1.4 El Pla Catalunya Connecta i el Projecte BAR	4
1.5 Consideracions prèvies	4
2 El projecte de desplegament de Banda Ampla Rural a Catalunya	6
2.1 Objectius del Projecte BAR	6
2.2 Abast actual del projecte	6
2.3 Evolució de l'abast	7
2.4 Antecedents	7
2.5 Serveis oferts	7
2.6 Usuaris	8
2.7 Àmbit geogràfic	8
2.8 Ordenació ambiental (POAIR)	9
3 Descripció de l'estructura organitzativa	10
3.1 Organització del projecte de desplegament de banda ampla rural	10
3.1.1 Model de gestió	10
3.1.2 Organigrama actual del projecte	11
3.2 Calendari del projecte de desplegament de banda ampla rural	13
3.2.1 Planificació	13
3.2.1. a) Planificació inicial	13
3.2.1. b) Planificació Catalunya Connecta	14
3.2.2 Execució	15
3.2.2. a) Selecció de proveïdor	15
3.2.2. b) Disseny conceptual	15
3.2.2. c) Implantació	15
3.2.3 Seguiment	16
3.2.3. a) Comitès	16
3.2.3. b) Indicadors	17

3.3	Finançament del projecte de desplegament de banda ampla rural	18
3.3.1	Pressupost i finançament.....	18
3.3.2	Costos unitaris	18
3.3.3	Assignació de costos	19
4	Solució tecnològica adoptada.....	20
4.1	Abast de l'anàlisi	20
4.2	Alternatives tecnològiques considerades	20
4.2.1	Solució satèl·lit bidireccional	20
4.2.1. a)	Satèl·lit bidireccional directe	20
4.2.1. b)	Satèl·lit bidireccional + Wi-Fi.....	21
4.2.2	Solució satèl·lit unidireccional amb retorn per XTC	22
4.3	Descripció de la solució adoptada.....	23
4.3.1	Solució LMDS	23
4.3.2	Solució pre-WiMAX	24
4.4	Evolució tecnològica.....	25
4.4.1	IEEE	25
4.4.2	ETSI	25
4.4.3	WiMAX	25
4.4.4	WiMAX Forum.....	26
5	Estat de l'art de tecnologies cel·lulars de banda ampla	27
5.1	LMDS	27
5.1.1	Introducció a la tecnologia	27
5.1.2	Accés múltiple	27
5.1.3	Modulacions utilitzades	28
5.1.4	Freqüència de treball	28
5.1.5	Ample de banda de canal	28
5.1.6	Sistema de duplexat.....	29
5.1.7	Maduresa i estat de desenvolupament de la tecnologia	29
5.1.8	Desplegaments realitzats.....	29
5.2	WiMAX fix (IEEE 802.16-2004 & ETSI HiperMAN)	29
5.2.1	Introducció a la tecnologia	29
5.2.2	Accés múltiple	30
5.2.3	Modulacions utilitzades	30
5.2.4	Freqüència de treball	30
5.2.5	Ample de banda de canal	31

5.2.6	Sistema de duplexat.....	31
5.2.7	Maduresa i estat de desenvolupament de la tecnologia	31
5.2.8	Desplegaments realitzats.....	31
5.3	WiMAX mòbil (IEEE 802.16e-2005)	32
5.3.1	Introducció a la tecnologia	32
5.3.2	Accés múltiple	32
5.3.3	Modulacions utilitzades	32
5.3.4	Freqüència de treball	32
5.3.5	Ample de banda de canal	32
5.3.6	Sistema de duplexat.....	33
5.3.7	Sistemes de millora	33
5.3.7. a)	MIMO	33
5.3.7. b)	Beamforming.....	34
5.3.8	Maduresa i estat de desenvolupament de la tecnologia	34
5.3.9	Desplegaments realitzats	35
5.4	LTE.....	35
5.4.1	Introducció a la tecnologia	36
5.4.2	Accés múltiple	36
5.4.3	Modulacions utilitzades	36
5.4.4	Freqüència de treball	37
5.4.5	Ample de banda de canal	37
5.4.6	Sistema de duplexat.....	37
5.4.7	Sistemes de millora.....	37
5.4.8	Maduresa i estat de desenvolupament de la tecnologia	37
5.4.9	Desplegaments realitzats	38
6	Comparativa d'aspectes tècnics de la capa física i la d'enllaç	39
6.1	TDD v.s. FDD	39
6.1.1	Comparativa.....	39
6.1.2	Conclusions.....	40
6.2	OFDMA v.s. CDMA	41
6.2.1	Comparativa.....	41
6.2.2	Conclusions.....	43
6.3	OFDMA v.s. SC-FDMA	43
6.3.1	Comparativa.....	44
6.3.2	Conclusions.....	45

6.4	Espectre: Banda llicenciada v.s banda no llicenciada.....	45
6.4.1	Comparativa.....	45
6.4.2	Conclusions.....	46
7	Consideracions i conclusions	47
7.1	Consideracions finals	47
7.1.1	Consideracions organitzatives	47
7.1.2	Consideracions tecnològiques	48
7.1.3	Consideracions ambientals	50
7.2	Conclusions finals	50
7.2.1	Conclusions organitzatives	50
7.2.2	Conclusions tecnològiques	52
7.2.3	Conclusions ambientals	53
7.3	Nous reptes de la banda ampla: La banda ampla en el futur.....	53
8	Propostes d'actuació	55
8.1	Primera proposta: Esperar l'oportunitat.....	55
8.2	Segona Proposta: Redefinir la banda ampla rural	56
8.2.1	Subproposta 1: Mobilitat	56
8.2.2	Subproposta 2: No mobilitat.....	57
9	Epíleg	58
10	Bibliografia	59
11	Annexos	61
11.1	Normativa Estatal	61
11.2	Arquitectura OSI de la ISO.....	67
11.3	Sistemes de duplexat.....	68
11.3.1	FDD (Frequency Division Duplexing).....	68
11.3.2	TDD (Time Division Duplexing).....	68
11.4	Mètodes d'accés al medi o d'accés múltiple	69
11.4.1	Mètodes aleatoris.....	69
11.4.1. a)	CSMA (Carrier Sense Multiple Acces).....	69
11.4.1. b)	CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces/Collision Avoidance).....	70

11.4.2	Mètodes deterministes	70
11.4.2. a)	TDMA (Time Division Multiple Access)	71
11.4.2. b)	FDMA (Frequency Division Multiple Access)	71
11.4.2. c)	CDMA (Code Division Multiple Access)	71
11.4.2. d)	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	72
11.4.2. e)	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)	72
11.4.2. f)	SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) ...	73

Resum executiu

Aquest projecte parla del desplegament d'una xarxa d'accés a internet de banda ampla en el món rural per part de la Generalitat de Catalunya a través del Centre de Telecomunicacions i Tecnologies de la Informació (CTTI).

L'estat espanyol té definit el "servei universal" que garanteix els serveis de telefonia fixa i d'accés a internet (sense especificar velocitat de connexió) a tota la població. La Generalitat ha ampliat el concepte de servei universal i vol fer arribar la TDT, la telefonia mòbil i la banda ampla als nuclis de població de més de 50 habitants. A més, ha estès el projecte a tots els polígons industrials que manquin d'aquests serveis.

El desplegament d'aquests serveis es du a terme mitjançant el Pla Catalunya Connecta, el qual consta del Projecte Banda Ampla Rural, el Projecte TDT Rural, el Projecte Telefonia Mòbil Rural i el Projecte Radiocom, que subministra noves torres on penjar els equipaments als altres tres projectes.

Per desplegar la xarxa de banda ampla, el CTTI ha realitzat concursos públics per atorgar licitacions de desplegament i explotació. L'empresa licitadora realitza la planificació, l'execució i el desplegament conjuntament amb el CTTI. Els fons per al projecte surten del Departament de Governació i Administracions Públiques.

La solució tecnològica guanyadora del primer concurs (2003) va ser el LMDS que després es va migrar a WiMAX fix (2004) i s'ha continuat amb la mateixa tecnologia des de llavors.

L'evolució de la banda ampla sense fils marca al WiMAX mòbil i/o l'LTE com a les tecnologies successores del WiMAX fix, tot i que aquestes afegixin la funcionalitat de mobilitat que no té aquesta última.

Al punt 6 es comparen aspectes tècnics de la capa física i la d'enllaç importants per a l'elecció d'una tecnologia o una altra en l'accés a internet sense fils de banda ampla.

La conclusió és que la tecnologia que s'està desplegant actualment (WiMAX fix) és la més adequada pel seu estat de desenvolupament i les seves prestacions, però es preveu la necessitat d'un canvi de tecnologia en un futur proper per no quedar-se enrere en la societat de la informació.

Es donen dues propostes de continuïtat:

La primera, esperar fins al final de la concessió de l'actual xarxa (31 de desembre de 2012) per decidir el futur de la banda ampla rural a Catalunya per part de la Secretaria de Telecomunicacions i Societat de la Informació.

La segona implica la redefinició dels objectius del Projecte BAR i si s'inclourà la mobilitat o no. En cas que si s'inclogui, es proposa fer un estudi per migrar la tecnologia actual a WiMAX mòbil o LTE al final de la concessió de la xarxa actual. En cas que no s'inclogui la mobilitat, es proposa una ampliació de la capacitat de la xarxa actual un cop s'hagi acabat el desplegament de la mateixa (31 d'octubre de 2010) o al final de la concessió.

1 Introducció

Aquest Projecte Final de Carrera tracta principalment de l'accés a internet de banda ampla i de com fer-lo arribar a la majoria de la població dins el territori català.

L'accés a internet banda ampla és un concepte dinàmic, que varia amb el temps juntament amb les necessitats dels usuaris i els nous serveis oferts.

1.1 Banda ampla en el passat

Inicialment es va començar a fer servir aquest terme per diferenciar-se del Dial-Up, que és la connexió a internet a través la xarxa telefònica commutada utilitzant la mateixa banda o canal que la veu. El Dial-Up permet una velocitat màxima de transmissió de 56kbps i requereix de l'establiment d'una trucada telefònica, pel que no es pot utilitzar la línia per a la veu mentre la connexió està establerta.

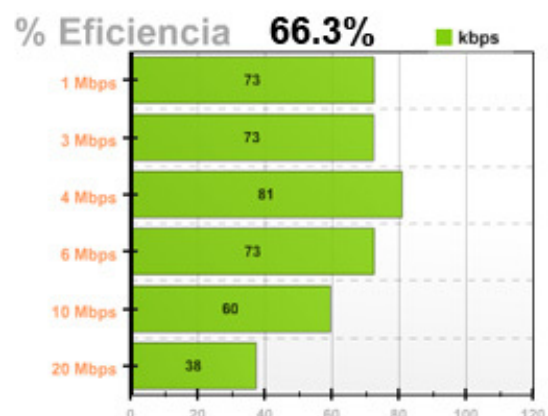
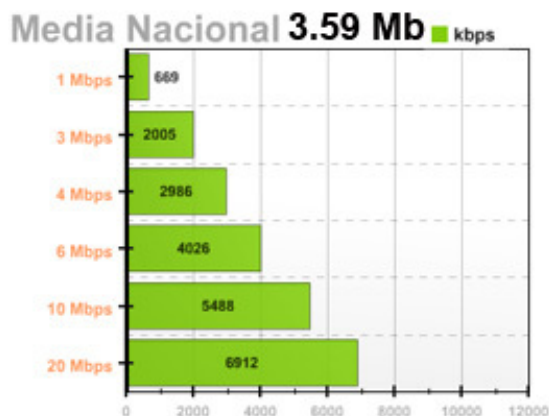
Els primers accessos en denominar-se de banda ampla van ser, a l'estat espanyol, els de RDSI entre mitjans i finals dels anys 90, que permetien velocitats de 64 i 128 kbps. Tot seguit, cap a mitjans de l'any 1999, van sortir les primeres versions d'ADSL i Cable a velocitats de 256 kbps.

1.2 Banda ampla a l'actualitat

Actualment, les operadores de banda ampla (sobretot d'ADSL), ofereixen tarifes planes a velocitats que van des d'1 fins a 20 Mbps a preus que ronden entre els 20 i els 60€/mes. Però aquestes velocitats de transmissió és refereixen al màxim que pot arribar a la connexió i no són velocitats reals per als usuaris.

Segons un estudi realitzat per adslnet l'agost de 2008, la fiabilitat de la velocitat de transmissió decreix com més velocitat ofereix l'empresa operadora a partir dels 4 Mbps. Amb una mitjana espanyola de 3,59 Mbps i una eficiència mitja del 66.3% tal i com indica la següent figura:

Agosto 2008

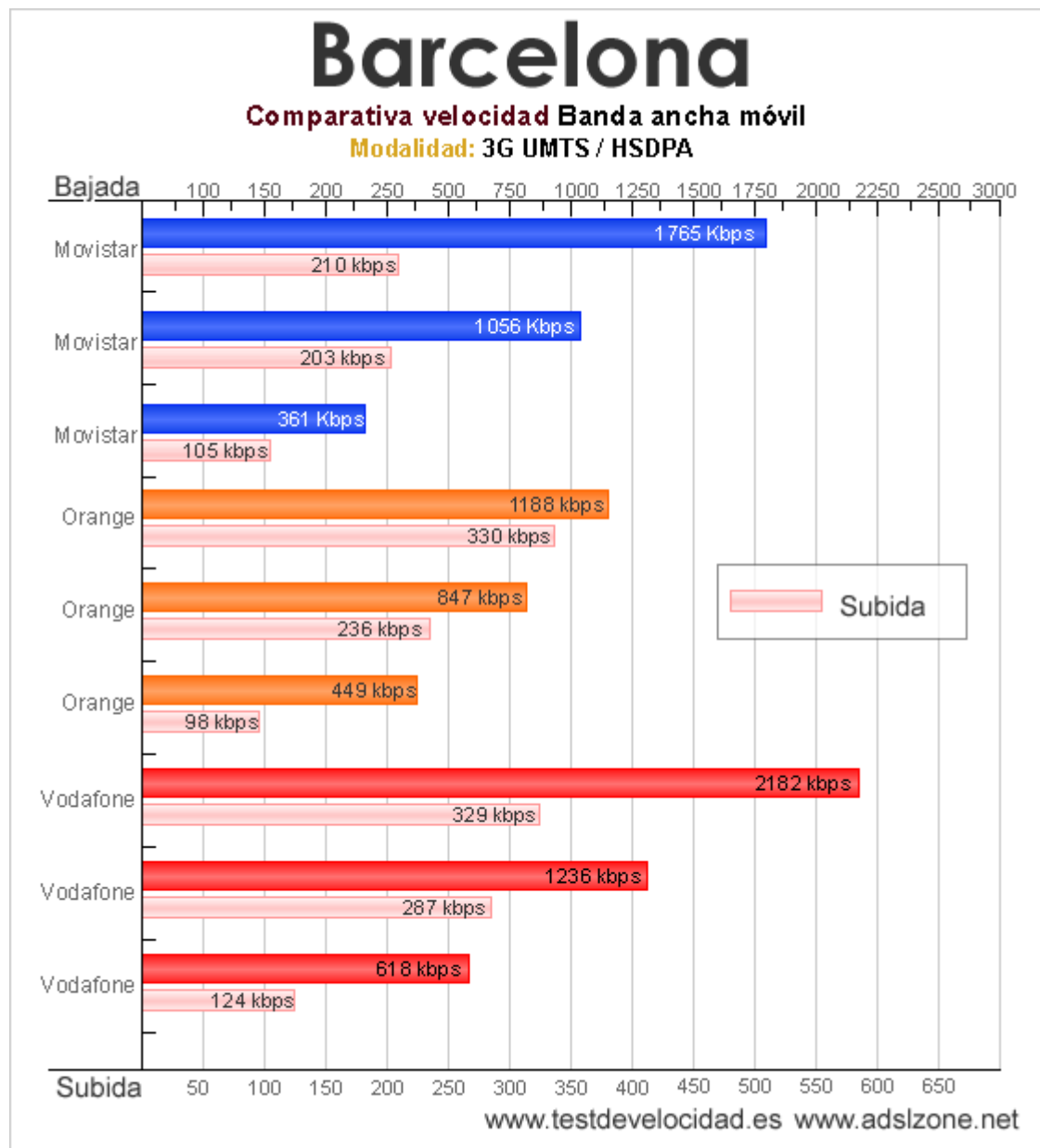


Així que, avui en dia és pràcticament impossible per al gran públic obtenir una connexió a internet superior als 10 Mbps reals, independent del cost de la mateixa. Xifra que cau en picat quan els domicilis estan allunyats de les centraletes d'ADSL.

Respecte a l'accés a internet amb mobilitat, la iniciativa l'han duta fins ara els operadors de telefonia mòbil. Es van començar a fer els primers passos amb el GPRS o 2.5G que donava la possibilitat de descarregar missatges multimèdia, imatges i melodies. Un pas més va ser l'UMTS o 3G que actualment ofereix una navegació limitada a pàgines preparades al respecte i també videoconferència, amb velocitats de pic de fins a 1.4 Mbps (no reals). Però son

connexions de poca capacitat i molt limitades per ser considerades de banda ampla actualment, tot i que hi ha mòdems USB que aprofiten aquestes xarxes (2.5 i 3G) per donar connexió a internet de mitjana velocitat (fins a uns 250 Kbps) quan HSPA no està disponible.

La primera xarxa que permet una navegació mínimament fluida a través d'internet i amb mobilitat és l'anomenada HSPA, que segons els operadors arriba a 7.2 Mbps de pic de baixada (HSDPA). Però en un estudi de test de velocitat de connexió fet per ADSLZONE.NET mostra que a Barcelona, l'HSDPA pot arribar a una velocitat mitjana de descàrrega de 2Mbps segons l'operadora, el lloc i l'hora del dia, més que una connexió ADSL d'1 Mbps.



1.3 Servei Universal

A l'estat espanyol, està definit el servei universal de telecomunicacions, el qual garanteix unes prestacions mínimes al llarg de tot el territori en l'àmbit de les comunicacions electròniques.

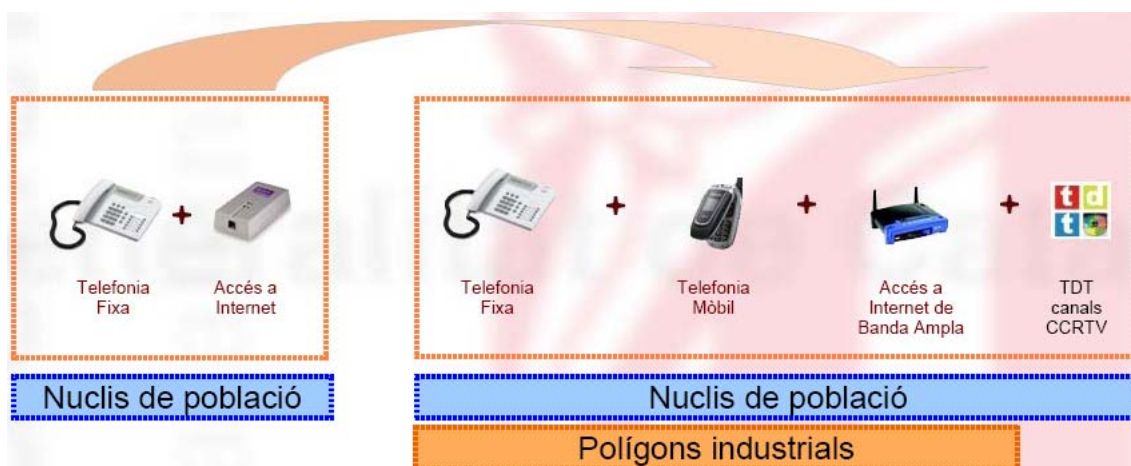
Aquestes prestacions són:

- Connexió a la xarxa telefònica fixa pública i accés al servei telefònic.
- Fer i rebre trucades telefòniques.
- Permetre comunicacions de fax i dades per accedir de forma funcional al servei de banda ampla (sense especificar velocitat mínima).

A part del servei universal, a l'estat espanyol, es va posar en marxa el PEBA (Programa d'Extensió de la Banda Ampla), del Ministeri d'Indústria, que va acabar les seves actuacions el 31 d'octubre de 2008. El PEBA buscava incitar als operadors a prestar servei a les zones menys rentables, subvencionant aquells que donaven una velocitat d'accés a partir de 256 Kbps de baixada i 128 Kbps de pujada.

1.4 El Pla Catalunya Connecta i el Projecte BAR

El Pla Catalunya Connecta vol anar més enllà del Servei Universal incrementant en la mesura del possible els serveis de comunicacions electròniques on la iniciativa privada no arriba. Aquests serveis són la telefonia mòbil, la televisió digital terrestre i la banda ampla.



El Projecte BAR (Banda Ampla Rural) està contingut dins el Pla Catalunya Connecta i s'ocupa exclusivament del desplegament de la banda ampla a les zones rurals de Catalunya.

1.5 Consideracions prèvies

De totes les tecnologies capaces de donar un servei de banda ampla en el sentit actual del concepte, les alternatives que utilitzen cablejat no semblen una bona solució per cobrir les zones rurals.

D'aquestes, les tecnologies principals són: ADSL, HFC i PLC.

L'ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line o Línia d'Abonat Digital Asimètrica) és la tecnologia més àmpliament utilitzada arreu del territori català, però a part de que comença a semblar que arriba al seu límit de velocitat, té un problema inherent molt greu: no funciona a més de 5 km d'una centraleta. Aquest fet no és destacable en ciutats o grans poblacions, però fa impossible un desplegament arreu del territori, sobretot en zones rurals.

L'HFC (Hybrid Fibre Coaxial o Híbrid Fibra Coaxial), és un sistema que acosta la fibra òptica molt a prop de la llar (fins al peu dels edificis, per exemple), i a partir d'allà s'utilitza un cable coaxial per arribar fins al cable-mòdem que dona l'accés a internet. Aquesta tecnologia permet grans amplituds de banda i poca atenuació amb la distància, però requereix del desplegament d'una xarxa totalment nova (l'ADSL utilitza el parell de coure instal·lat fa dècades per al servei de telefonia fixa). Les obres que requereix aquest desplegament fa que no sigui rentable fer arribar aquesta tecnologia al món rural.

La tecnologia PLC (Power Line Communications o Comunicacions pel al Línia Elèctrica) ha intentat aprofitar els quilòmetres de cable de línia elèctrica que recorren el nostre territori per transmetre dades, però no s'ha arribat a desenvolupar aquesta tecnologia per a l'accés a internet de banda ampla ja que no ha donat els resultats esperats.

És per aquests motius que l'accés a internet al món rural ha de passar per alguna alternativa sense fils, tal i com s'explicarà al llarg del present document.

2 El projecte de desplegament de Banda Ampla Rural a Catalunya

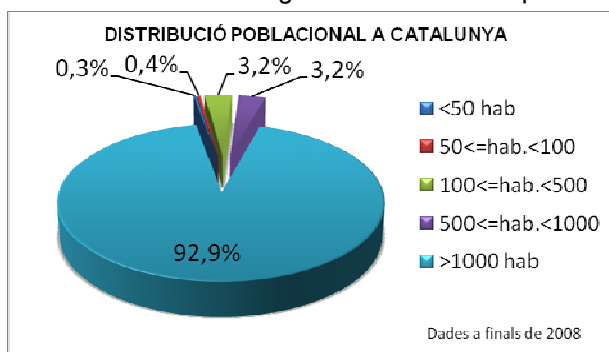
El Projecte Banda Ampla Rural (BAR) forma part d'un pla més gran anomenat: Pla Catalunya Connecta. El Pla Catalunya Connecta, ideat per la Generalitat, vol facilitar l'accés a la Societat de la Informació a gairebé tota la població de Catalunya.

El Pla Catalunya Connecta es pot dividir en tres projectes de desplegament, diferenciats segons el servei que volen donar: el Projecte Telefonia Mòbil Rural (TMR), el Projecte TDT Rural i el Projecte Banda Ampla Rural; aquest últim, objectiu d'anàlisi del present document.

En aquest punt es farà una descripció general del Projecte BAR per situar al lector en el context del document, tot destacant els aspectes més significatius del desplegament de la xarxa d'accés a internet de banda ampla.

2.1 Objectius del Projecte BAR

La gran majoria dels habitants de Catalunya s'agrupa en poblacions de més de 1000 persones, tal i com es mostra al gràfic de distribució poblacional. La majoria d'habitants d'aquests nuclis



de població no tenen problemes per accedir a una connexió de banda ampla, ja sigui ADSL o alguna altra tecnologia similar en cost i qualitat de servei. Això és degut a que les operadores privades estan interessades en oferir servei als nuclis grans, ja que com més clients tinguin, més beneficis obtindran. Però en els nuclis més petits, la cosa canvia, ja que les despeses de posada en funcionament i prestació del servei, superen als beneficis a curt i mitjà termini.

Per tant, la població d'aquests nuclis i masies disseminades, té més dificultats per accedir al servei i s'han de buscar solucions alternatives.

Dins d'aquest context, l'objectiu principal del Projecte BAR és trencar o reduir la fractura digital territorial, fent arribar una connexió a internet de Banda Ampla a la quasi totalitat de la població de Catalunya, independentment de la condició orogràfica.

El projecte BAR també vol cobrir els polígons industrials que tinguin carència d'aquest servei, així com zones d'activitat econòmica característica, on els Ajuntaments hi tinguin interès tot i que no hi hagi població censada, com podrien ser, balnearis, estacions d'esquí o cases de turisme rural.

2.2 Abast actual del projecte

Cobrir el 100% de la població catalana és un objectiu pràcticament impossible d'assolir amb un pressupost raonable. Llavors, cal acotar l'abast del projecte, quedant dins de l'objectiu tots els nuclis de població de més de 50 habitants, tots els polígons industrials, i totes aquelles zones on els Ajuntaments hagin demostrat interès, i s'hagin acordat prèviament amb la Generalitat. Aquestes zones s'anomenaran Zones d'Especial Interès (ZEI's).

La resta de nuclis de població i disseminats, resten com a objecte d'estudi del projecte, havent d'analitzar cas per cas la situació en la que es troben i amb una prioritat inferior per fer les actuacions. Segons dades de la Generalitat, a finals de 2008, la població que habita aquests indrets suposa aproximadament un 0,3% de la població total, menys de 25.000 persones.

2.3 Evolució de l'abast

A l'inici del Projecte BAR, l'abast que es va marcar incloïa els nuclis de més de 100 habitants, tots els caps de municipi (nuclis que gestionen tot el municipi del que formen part) i 250 poblacions més (de menys de 100 habitants), requisit de les quals era que no tinguessin servei ni previsió de servei d'ADSL. Aquest abast va suposar un total de 895 entitats de població.

El 2005 es va ampliar l'abast i el pressupost, quedant dins del primer 756 entitats de població que encara no estaven cobertes.

Fins el 2008, els tres projectes de desplegament del CTTI (BAR, TDT i TMR) havien funcionat de manera independent. Llavors es va posar en marxa el Pla Catalunya Connecta, que englobava els tres projectes i ampliava l'abast de tots ells quedant l'abast actual explicat en punt 2.2. El qual suposa per al Projecte BAR, cobrir 137 nuclis i 28 polígons industrials abans del 31 d'octubre del 2010, amb una concessió d'explotació a l'empresa licitadora fins el 31 de desembre de 2012.

2.4 Antecedents

El projecte BAR s'inicià el 15 de juliol de 2003 quan el Govern de la Generalitat va encarregar al CTTI (Centre de Telecomunicacions i Tecnologies de la Informació) el desplegament d'una xarxa de banda ampla per a l'entorn rural a Catalunya.

A partir de llavors, es va començar amb una primera fase, que constava de 2 lots a adjudicar distribuïts equitativament per nombre d'habitants: un lot que incloïa les actuacions a fer a les províncies de Lleida i Tarragona, afegint la comarca de l'Anoia; i l'altre, que quedava constituït per les províncies de Barcelona i Girona exceptuant la comarca de l'Anoia. Per simplificar, en aquest document, es distingirà als dos lots per cardinalitat: lot de ponent (Lleida i Tarragona més Anoia) i lot de llevant (Barcelona i Girona excepte Anoia).



El motiu principal per separar el territori en dos lots va ser per poder tenir l'opció de provar dues solucions tecnològiques diferents, com va acabar essent en les primeres licitacions.

Finalment es va demostrar que la tecnologia emprada en el lot de ponent era més adequada, pel servei que es volia oferir, que no la del lot de llevant, i es va acabar desplegant a tot el territori la emprada al primer lot (es pot veure una explicació més detallada de les tecnologies en apartats posteriors).

2.5 Serveis oferts

Inicialment, l'any 2003, el servei previst que s'oferia en el projecte BAR, era l'accés ràpid a internet, on es marcava els següents valors mínims nominals de velocitat de transmissió, tant de pujada com de baixada, i també la següent escalabilitat:

Cabal de baixada	Cabal de pujada
256 Kbps	64 Kbps
512 Kbps	128 Kbps
1024 Kbps	256 Kbps
2048 Kbps	512 Kbps
8192 Kbps	1024 Kbps

També es marcaven aspectes com qualitat de servei i disponibilitat, i es deixava lliure si l'accés havia de ser simètric o asimètric, però no s'oferien serveis addicionals ja que la tecnologia emprada al inici del projecte no ho permetia.

A mesura que ha passat el temps, s'han anat augmentant els requeriments tècnics, de manera que els serveis oferts estiguin en consonància amb la demanda del mercat. En el plec de condicions tècniques de les últimes fases, es fixa un valor mínim de velocitat de connexió ("bit rate") més alt, però també menys escalabilitat:

Cabal
1 Mbps
2 Mbps
4 Mbps

Es parlarà de les tecnologies utilitzades en punts posteriors.

2.6 Usuaris

Al principi, els usuaris beneficiats pel projecte eren tots aquells particulars i empreses dels nuclis de població que no tinguessin accés a una connexió de banda ampla, així com també tots els Ajuntaments dels municipis de Catalunya que no tinguessin el mencionat servei. Tot i que una petita part de la població, tal i com s'ha dit al punt 2.2 (Abast actual del projecte), es quedaria sense servei ja que és pràcticament impossible cobrir el territori al 100%.

Més endavant, es va decidir donar servei també a tots els polígons industrials de Catalunya, ja que moltes empreses estan instal·lades en els mateixos i es quedarien sense cobrir en el plantejament inicial.

2.7 Àmbit geogràfic

El projecte BAR és d'aplicació a tot el territori de Catalunya, però aquest àmbit es redueix a les zones que no tenen accés a alguna connexió a internet de banda ampla. D'aquestes zones sense servei, en podem distingir tres casos, diferenciats entre ells per les dificultats per obtenir el servei:

- Zones d'alta muntanya: Normalment estan força aïllades i son zones de difícil accés per carretera. Cosa que dificulta i encareix qualsevol construcció d'infraestructures. A part, els nuclis d'aquestes zones no acostumen a tenir gaire població, això suposa que les empreses operadores privades no hi tinguin massa interès.
- Zones rurals: Es troben habitualment en grans extensions de terreny, amb nuclis força separats entre ells, amb una població considerable però poca penetració de servei. Per tant, cobrir tota la població amb ADSL o instal·lar fibra òptica, no acostuma a sortir rentable.
- Zones d'orografia complicada: Donat que Catalunya té molt territori amb una orografia força abrupta, hi ha moltes zones que no tenen que ser d'alta muntanya per tenir problemes amb aquesta. Tot hi haver una població suficient en molts nuclis com per interessar a les operadores, alguns accidents geogràfics (turons o depressions marcades, per exemple) fan tirar enrere les possibles actuacions que es poguessin plantejar per a aquests nuclis.

La majoria de comarques de Catalunya tenen algun d'aquests tres tipus de zones, per tant, no es pot deixar de banda l'opinió del territori a l'hora de tenir en compte les deficiències dels seus nuclis.

2.8 Ordenació ambiental (POAIR)



Per al desplegament del servei, calen torres on penjar els equips radiants que donen accés a internet de banda ampla. Però no és gens eficient ni econòmica ni ambientalment construir una torre per cada servei i nucli que es vulgui cobrir.

És per això que es segueix una metodologia per l'ordenació ambiental de les instal·lacions de radiocomunicació en sòl no urbanitzable anomenada POAIR: Pla d'Ordenament Ambiental d'Infraestructures de Radiocomunicacions.

L'objectiu de l'ordenació és definir les infraestructures on s'ha de fer el desplegament dels serveis de radiocomunicacions, optimitzant les infraestructures existents (que desembocaran en comparticions) i definint les necessitats del territori amb una planificació de possibles infraestructures que s'han de construir en nuclis que actualment pateixen deficiència d'algun dels serveis que subministra el Pla Catalunya Connecta.

3 Descripció de l'estructura organitzativa

Aquest punt pretén donar una idea sobre quina estructura organitzativa s'utilitza en el desplegament de la xarxa de Banda Ampla Rural que realitza el Projecte BAR. Primer s'exposarà el model de gestió i l'organització funcional. Tot seguit es comentarà el calendari, des de la planificació fins a l'execució i el seguiment. I es conclourà amb una explicació de l'organització econòmica, on s'explicarà d'on surten els fons per al projecte i com es reparteixen els costos.

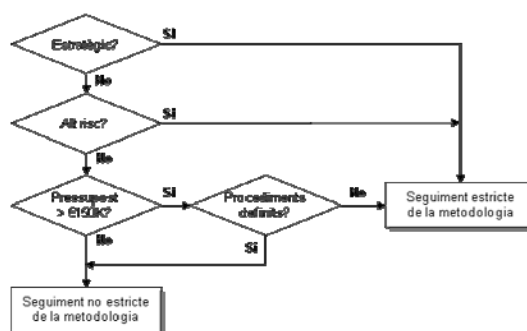
Donada l'envergadura, complexitat i durada del projecte, aquesta descripció serà de caire representatiu i no s'entrarà en màxim detall, ja que en resultaria un text massa extens i la intensió és donar una visió general de l'organització.

3.1 Organització del projecte de desplegament de banda ampla rural

Aquí es descriurà com estan organitzades les tasques a dur a terme pel personal que porta el projecte, i quin model de gestió es segueix per poder tirar endavant un projecte d'aquesta magnitud.

3.1.1 Model de gestió

El model de gestió del Projecte BAR segueix la Metodologia per l'Execució i Seguiment de Projectes d'Informàtica i Telecomunicacions (ESPRIT). Aquesta metodologia marca clarament les pautes a seguir i les decisions a prendre en cada moment segons la conjuntura per tal d'aconseguir una millora continua i minimitzar imperfeccions, fins i tot marca sota quines condicions s'ha d'aplicar estrictament aquesta metodologia.



ESPRIT ereta la seva filosofia de la metodologia 6σ (sis sigma), la qual es basa en: Identificar, aïllar i eliminar la variació, prevenir els defectes, solucionar proactivament els problemes (abans que succeeixin) i la millora continua dels processos.

Aquesta metodologia (6σ) va ser desenvolupada per Motorola el 1986 i cada cop més, grans companyies l'adopten arreu del món.

ESPRIT es basa fonamentalment en separar la multitud de tasques a dur a terme en un projecte en diferents fases i punts de decisió, de tal manera que es mantingui l'estructura organitzativa i s'asseguri la direcció i lideratge en la presa de decisions.

Hi ha 6 fases, i cada fase es caracteritza pel seu Punt de Decisió, de PD0 a PD5.

Les diferents fases són:

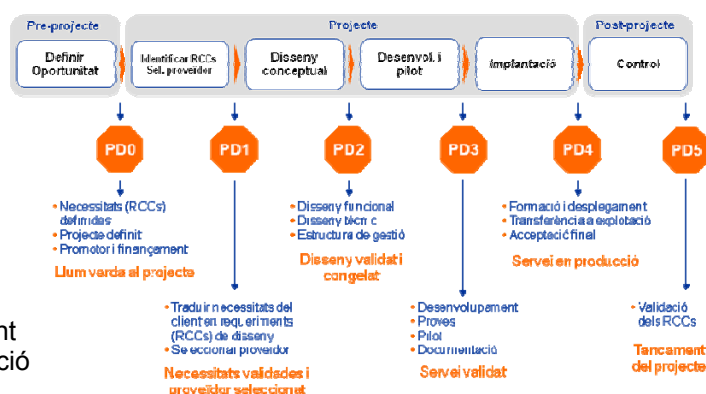
- PD0: Definir oportunitat.
- PD1: Identificar i mesurar els requeriments crítics de disseny del client i seleccionar proveïdor.
- PD2: Disseny conceptual.
- PD3: Desenvolupament i Pilot.
- PD4: Desplegament.
- PD5: Control.

Aquestes fases s'agrupen en tres etapes: Pre-projecte (PD0), Projecte (PD1, PD2, PD3 i PD4) i Post-projecte (PD5).

Cada fase té definida una sèrie de lliurables, on s'especifica concretament les tasques a dur a terme del projecte i els criteris que han d'estar ben clars i definits. ESPRIT no marca el format d'aquests lliurables, sinó el contingut.

Els lliurables de cada fase es podrien agrupar en:

- PD0: Definir oportunitat:
 - ✓ Necessitats definides (Requeriments Crítics de Client)
 - ✓ Projecte definit
 - ✓ Promotor i finançament
- PD1: Identificar i mesurar els requeriments crítics de disseny del client i seleccionar proveïdor:
 - ✓ Traduir necessitats del client en requeriments de disseny
 - ✓ Seleccionar proveïdor
- PD2: Disseny conceptual:
 - ✓ Disseny funcional
 - ✓ Disseny tècnic
 - ✓ Estructura de gestió
- PD3: Desenvolupament i Pilot:
 - ✓ Desenvolupament
 - ✓ Proves
 - ✓ Pilot
 - ✓ Documentació
- PD4: Desplegament:
 - ✓ Formació i desplegament
 - ✓ Transferència a explotació
 - ✓ Acceptació final
- PD5: Control:
 - ✓ Validació dels Requeriments crítics de client (RCCs)



Un exemple del lliurable “Abast del projecte” que estaria dins “Projecte definit” de PD0, contindria els següents punts:

Abast del projecte:

- S'ha definit el perímetre del projecte?
- On comença i on acaba el procés de negoci
- Àmbit geogràfic
- Àmbit departamental
- S'han identificat les principals funcionalitats del servei?
- S'han identificat les entrades i els proveïdors d'aquestes, i les sortides i els receptors/clients d'aquestes?
- S'ha definit què queda fora del projecte?

3.1.2 Organigrama actual del projecte

El promotor del Projecte BAR és la Secretaria de Telecomunicacions i Societat de la Informació de la Generalitat de Catalunya (STSI a partir d'ara). Aquesta va encarregar al CTTI el desplegament d'una xarxa de Banda Ampla Rural sobre el territori català.

Dins del CTTI, l'Àrea de Radiocomunicacions i Desplegament d'Infraestructures de Telecomunicació (ARDIT a partir d'ara), és la que es fa càrrec d'aquest desplegament i posa en marxa el projecte.

Entre els projectes que porta l'ARDIT està el Pla Catalunya Connecta, que actualment engloba al Projecte BAR, el Projecte TDT Rural, el Projecte Telefonia Mòbil Rural i el Projecte Radiocom.



D'aquest projectes, tres son de desplegament dels diferents serveis i l'altre, el Projecte Radiocom, és l'encarregat de proporcionar noves torres en els emplaçaments on requereixin els altres tres.

L'ARDIT està dividit en cinc seccions, on cada una d'aquestes realitza una sèrie de tasques per als diferents projectes en funció de les seves necessitats.

Les cinc seccions de l'ARDIT són:

- Disseny i Planificació
- Enginyeria
- Explotació
- Oficina de Projectes
- Consultoria Estratègica



D'aquestes cinc seccions, és l'Oficina de Projectes l'encarregada de gestionar els projectes. Per tant, tan el cap del Catalunya Connecta com el cap del Projecte BAR formaran part d'aquesta secció.

El cap del Projecte BAR coordina les tasques que les diferents seccions tenen assignades al projecte. També s'encarrega de la relació entre usuaris i l'empresa adjudicatària, així com que la xarxa es vagi desplegant adequadament.

De les altres seccions de l'ARDIT, son les de Disseny i Planificació i Explotació les que participen activament en el projecte. Però tant Disseny i Planificació, com Explotació duen a terme les seves tasques conjuntament amb l'empresa adjudicatària, ja que és aquesta última la responsable del desplegament, i el CTTI l'encarregat de supervisar-lo.

Les tasques que duen a terme les seccions per al Projecte BAR són les següents:

Disseny i Planificació:

- Realitzar el disseny tècnic i la planificació de la xarxa BAR en el marc del Pla Catalunya Connecta.
- Mantenir l'inventari de l'estat de serveis de Telecomunicacions de Catalunya (WiMAX, ADSL, etc.).
- Anàlisi de les deficiències detectades i proposta de solucions.
- Mesures de camp.

El que es tradueix amb els objectius de cobertura, que seran tant nuclis objectiu que han quedat dins l'abast del projecte, com les infraestructures objectiu, necessàries per poder donar el servei a aquests nuclis.

Explotació:

- Configurar i gestionar el manteniment de les xarxes des d'un únic punt de monitoratge.
- Controlar i supervisar les instal·lacions en temps real.
- Assegurar l'establiment d'aquells paràmetres que es considerin necessaris per realitzar el seguiment del manteniment de les infraestructures desplegades des del CTTI.
- Manteniment i actualització de les bases de dades i cobertures de serveis.

Les altres dues seccions de l'ARDIT no tenen tasques assignades al Projecte BAR.

De tal manera, el Projecte BAR es gestiona des de l'Oficina de Projectes, però interactua amb altres seccions i altres projectes que també es gestionen des de la mateixa secció. Tot això implica que el CTTI ha de tenir una organització matricial i que les diferents seccions i projectes no son independents entre sí i han d'interaccionar.

3.2 Calendari del projecte de desplegament de banda ampla rural

En aquest punt es descriurà el Projecte BAR amb una òptica temporal. Tal i com s'ha vist anteriorment, la metodologia ESPRIT marca cinc fases agrupades en tres etapes: "Pre-projecte", "Projecte" i "Post-projecte". Però donada la complexitat del projecte en qüestió es resumiran aquestes tres etapes de manera que es tingui una idea aproximada de com s'ha dut a terme el desenvolupament del Projecte BAR.

Per donar una idea més intuïtiva del que representa cada etapa del projecte, en aquest document s'ha canviat la nomenclatura que utilitza la metodologia ESPRIT, utilitzant "Planificació", "Execució" i "Seguiment" en comptes de "Pre-projecte", "Projecte" i "Post-projecte" respectivament.

3.2.1 Planificació

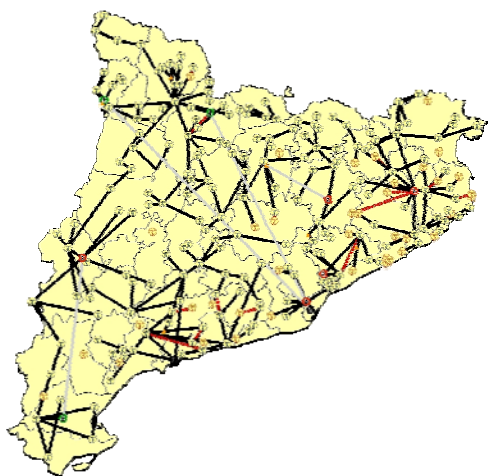
Tal i com s'ha dit en el punt d'evolució de l'abast del Projecte BAR (Punt 2.3), aquest inicialment funcionava de manera independent, i el 2008 va passar a estar englobat dins el Pla Catalunya Connecta. De tal manera que inicialment es va fer una planificació per un únic servei i després es va fer una planificació conjunta pels serveis de Banda Ampla, Telefonia Mòbil i TDT. Tot seguit es descriurà per sobre els dos tipus de planificacions:

3.2.1. a) Planificació inicial

La planificació d'un projecte d'aquest tipus comença per l'objectiu que vol assolir. En aquest cas, l'objectiu és trencar la fractura digital territorial que existeix entre els habitants de Catalunya, ja que uns tenen la possibilitat de tenir un servei de banda ampla i d'altres no segons la zona on habiten.

Per tant, el primer punt a seguir va ser llistar els nuclis de Catalunya que tenien servei d'ADSL. Llavors, s'obtingué el primer pas per començar a treballar: els nuclis que no apareixien a l'esmentada llista es podien considerar com a deficientes del servei de banda ampla.

Un cop obtinguda la llista, s'havia d'acotar l'abast imposant un límit que marcava els nuclis que entraven dins l'abast i els que no. Per posar aquest límit, es va valorar, mitjançant un estudi, el nombre mínim d'habitants que havia de tenir un nucli per entrar dins l'abast del projecte amb un pressupost raonable. Dins l'abast però, també entraven tots els nuclis que fossin cap de municipi independentment del nombre d'habitants (en un municipi pot haver-hi més d'un nucli, però l'ajuntament que gestiona tot el territori del municipi només està en una població, aquest nucli serà el cap de municipi). Aquest abast el va determinar el promotor del projecte: la STSI.



Així doncs, al marcar l'abast, va sorgir una nova llista amb els nuclis als quals se'ls hi havia de subministrar servei. Aquesta llista és la que es publicaria com a nuclis a cobrir en el plec de condicions, juntament amb altres requeriments del concurs públic que presentaria la Secretaria de Telecomunicacions. En aquest plec també es marcava el temps de desplegament, la qualitat de servei a donar i l'import de licitació.

Les empreses que volien obtenir la licitació havien de presentar propostes que seguissin aquest plec, amb el disseny i la planificació de la xarxa, tant la d'accés com la de transport. Les quals es valorarien i resultaria l'empresa guanyadora del concurs.

Cal esmentar però, que la selecció de l'empresa licitadora forma part de l'etapa d'execució del projecte.

3.2.2 Execució

L'execució del Projecte BAR s'està realitzant per fases, cada fase té un plec de condicions on es marquen els objectius de la mateixa, així com també els temps de desplegament i els requisits tècnics i administratius.

3.2.2. a) Selecció de proveïdor

Per a cada fase es realitza un concurs públic i s'adjudica el desplegament que marca el plec de condicions a l'empresa que presenta la millor oferta. No es comença una nova fase fins que s'ha completat l'anterior.

3.2.2. b) Disseny conceptual

Un cop adjudicada la licitació de l'empresa que realitza el desplegament, el CTTI supervisa el disseny i la planificació de la xarxa, fent-hi modificacions si es creu oportú. A part, s'ha de tenir en compte que a mesura que es va desplegant la xarxa, sorgeixen incidències de caràcter extern al projecte, com el rebuig dels habitants a tenir una torre en un indret determinat, la negativa dels propietaris de cedir els seus terrenys, etc.

3.2.2. c) Implantació

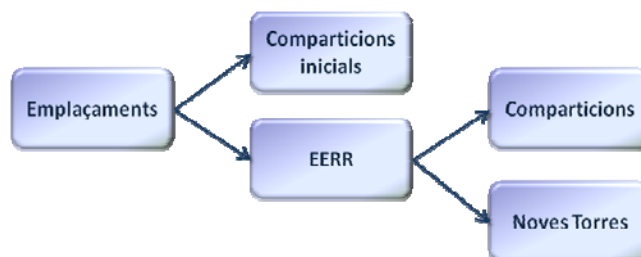
Tal i com s'ha dit a l'apartat de planificació Catalunya Connecta (punt 3.2.1.b), segons les previsions inicials del Pla Catalunya Connecta, es podia donar servei a nuclis i polígons dins l'abast del projecte mitjançant infraestructures existents arreu del territori. Aquests casos implicaven iniciar un procediment per realitzar la compartició de la torre existent a canvi del pagament d'un lloguer determinat en el contracte de compartició.

Per a la resta de nuclis i polígons, estava planificada la construcció de noves torres. Però abans de tirar endavant el procediment per a la construcció, s'havia d'iniciar un procediment previ per decidir el millor emplaçament mitjançant estudis radioelèctrics.

A continuació es descriuran de manera intuïtiva els diferents procediments:

Estudis Radioelèctrics (EERR)

Per a cada nucli i polígon dins l'abast, es realitza un estudi radioelèctric que determina l'estat dels serveis, i dona tres propostes d'emplaçament per a la torre que ha de resoldre la deficiència d'aquests. Aquests estudis poden donar com a resultat que la deficiència dels serveis es pot resoldre amb una torre existent de la qual no es tenia constància en l'anàlisi inicial, llavors es passaria al procediment per realitzar una compartició. Altrament es valora quina de les propostes d'emplaçament és la més adequada seguint el POAIR i es tira endavant el procediment per a la construcció.



Comparticions

En el cas que un emplaçament es pugui resoldre amb una compartició, és necessari esbrinar el propietari de la torre i posar-se en contacte amb ell per llogar-li un espai a la torre per penjar els equips radiants (antenes), i també un espai a la caseta per instal·lar els equips amplificadors i demés.

Per a cada compartició es seguiria un procés independent de les altres, ja que cada propietari pot tenir característiques diferents, i per tant no totes les comparticions tenen per què seguir el mateix contracte. Cada contracte estipula el preu de lloguer de l'espai utilitzat pels equips de BAR i el repartiment dels diferents costos que es deriven del funcionament de la torre, com el consum elèctric, el manteniment, etc.

Noves Torres

Si no hi ha cap infraestructura existent aprofitable, s'ha de construir una nova torre, el que suposa més dificultats: Primer de tot, s'ha de saber qui és el propietari del terreny i arribar a un acord per comprar-lo. En el cas que sigui un terreny dins el Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN) s'ha de parlar amb l'ens que el gestioni, igual que si el terreny és de propietat municipal, fets que poden retardar la transacció del terreny.

Però tenir el terreny no és suficient per construir la torre i posar-la en funcionament, també s'hi ha de porta l'escomesa elèctrica que alimentarà els equips transmissors. Depenent de la distància a la que es trobi la línia elèctrica més propera, el cost total de la construcció de la torre es pot veure incrementat de manera significativa.

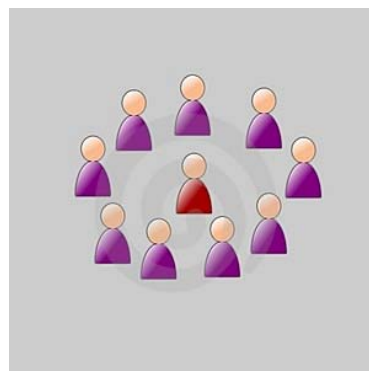
Juntament amb l'escomesa elèctrica, s'ha de realitzar les obres de construcció, que inclouen tant la torre en si (amb alçades típiques compreses entre 20 i 30 metres), com la caseta on aniran els equips, els quals tot sovint necessiten aire condicionat o algun tipus de control de temperatura ja que solen escalfar-se força.

Quan tot l'anterior està enllestit, la torre ja està llesta per a que se li penguin els equips, que un cop connectats, es certificaran per part del CTTI i donaran el servei a prestar.

3.2.3 Seguiment

El seguiment d'un desplegament com aquest és complex, i és important que sigui exhaustiu, ja que hi ha molts punts a tenir en compte, tant durant el desplegament, com un cop acabat.

El seguiment el duen a terme una sèrie de comitès, els quals s'asseguren que el desplegament evolucioni correctament mitjançant indicadors, els quals sorgeixen al processar la multitud de dades que es van generant.



3.2.3. a) Comitès

Hi ha dos comitès principals: el de seguiment i el de direcció. Qui els forma i la periodicitat amb la que es reuneixen està exposat tot seguit:

- **Comitè de seguiment:** Aquest comitè està format pel cap de projecte del CTTI i els responsables de projecte de l'empresa adjudicatària que du a terme el desplegament. Depenent dels punts a tractar a l'ordre del dia de cada reunió, es poden afegir esporàdicament altres responsables del CTTI, com per exemple, el cap del Pla Catalunya Connecta o encarregats de certificar el correcte funcionament de les estacions base ja instal·lades. El comitè de seguiment es reuneix amb una periodicitat setmanal i en formen part el comitè comercial i la reunió d'explotació, els quals s'encarreguen del seguiment de diferents aspectes del desplegament:
 - **Comitè comercial:** S'encarrega de fer un seguiment comercial de la xarxa de banda ampla rural, controlant si el nombre de clients va augmentant de la manera que s'havia previst i si aquests estan satisfets amb el servei prestat. Aquest seguiment es revisa setmanalment.

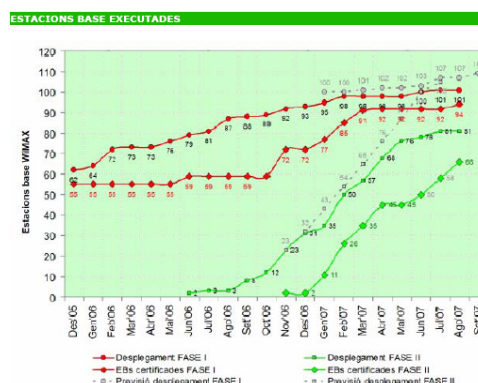
- Reunió d'explotació: Es realitza un cop al més, i s'encarrega de revisar els indicadors de qualitat de servei i aplicar les penalitzacions pertinents a la empresa adjudicatària. Aquestes penalitzacions es duran a terme si la xarxa no ha respost a la qualitat de servei estipulada en el plec de condicions durant un temps determinat.

- Comitè de direcció: És l'únic comitè en el que intervé el promotor del projecte: la STSI. També el formen el cap de projecte del CTTI i responsables de l'empresa adjudicatària. Aquest comitè marca el rumb que ha de portar el projecte i pren les decisions de més importància. També repassa per sobre que el projecte es desenvolupi correctament. La periodicitat amb que es reuneix pot oscil·lar entre un mes i un mes i mig.

3.2.3. b) Indicadors

Els indicadors són índex de les dades de desplegament seleccionats de tal manera que reflecteixin el desenvolupament de la xarxa.

Segons el tipus d'indicador, es poden definir uns marges que indiquin si s'evoluciona favorablement. Per exemple, es pot determinar si el nombre d'usuaris de la xarxa augmenta al ritme esperat si el creixement està entre uns certs percentatges.

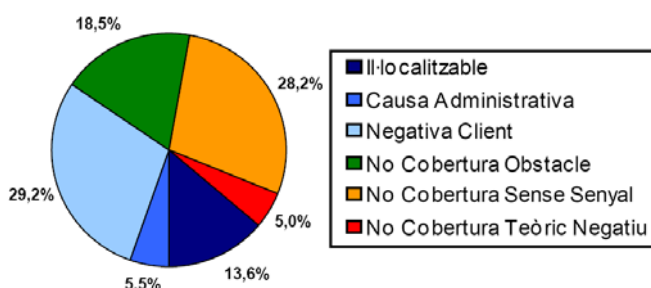


Els indicadors utilitzats en el Projecte BAR els genera el CTTI a partir de les dades que els hi envia l'empresa licitadora. Aquestes dades inclouen el nombre de clients, el tipus de servei prestat (veu o dades), les denegacions del servei per part de l'operador i el motiu, les incidències que han afectat al servei, etc.

El tipus d'indicadors són:

- Indicadors tècnics: Aquests indicadors tenen en compte tot el referent a com està constituïda la xarxa:
 - ✓ Nombre d'estacions base.
 - ✓ Últimes estacions base que han entrat en servei.
 - ✓ Nombre de sectors per estació.
 - ✓ Ampliació del nombre de sectors de les estacions base.
 - ✓ Nuclis coberts.
- Indicadors comercials: Dins d'aquests indicadors està recollida la informació relacionada amb els clients:

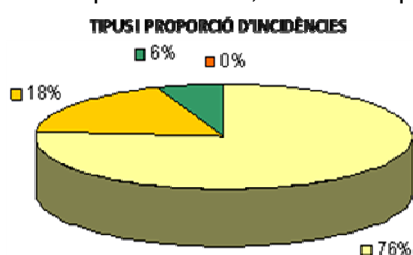
CAUSES PRINCIPALS DE LES DENEGACIONS DELS SERVEIS



temps de resposta, tant del servei d'atenció comercial com el servei tècnic).

- ✓ Nombre de clients.
- ✓ Nombre de serveis.
- ✓ Nombre de serveis pendents.
- ✓ Temps d'espera dels usuaris amb serveis pendents d'executar.
- ✓ Nombre d'altres.
- ✓ Nombre de baixes.
- ✓ Nombre de denegacions i el motiu.
- ✓ Temps d'espera de provisió de servei.
- ✓ Centre d'atenció al client (trucades ateses, abandonades, rebudes i el

- **Indicadors de qualitat de servei:** Son els indicadors que representen les incidències que ha patit el servei, durant les quals, alguns usuaris no han tingut accés:



- ✓ Tipus d'incidència.
- ✓ Durada de cada incidència.
- ✓ Nombre de clients afectats per cada tipus d'incidència.
- ✓ Evolució del nombre d'incidències.

- Transmissió:** la incidència és deguda a un problema de transmissió a la xarxa troncals o per una fallada d'algun component que afecta la transmissió.
- Força:** la pèrdua de servei és deguda a la manca de subministrament elèctric.
- Radio:** la pèrdua de servei és deguda a un problema en els elements relacionats amb la ràdio punt-multipunt
- Infraestructura:** la pèrdua de servei és deguda a un problema major en la infraestructura (armari, caseta,...) que conté els equips de l'estació base.

3.3 Finançament del projecte de desplegament de banda ampla rural

En aquest apartat es descriurà com es finança un projecte d'aquest tipus, d'on surten els diners i com es reparteixen els costos, però no es donaran els desglossaments d'aquests, ja que és una informació confidencial reservada a l'empresa licitadora, el CTTI i la STSI.

3.3.1 Pressupost i finançament

Al ser un projecte on les diferents fases es van licitant per concurs públic, el pressupost planificat és el que posa al plec de condicions de cada fase, que serà igual al pressupost executat. Tot i que es pugin fer ampliacions de pressupost ampliant també l'abast del projecte.

La licitació de la primera fase del projecte es va realitzar per un import de 12,5 milions d'euros el 2003, es va ampliar a 19,5 milions d'euros el 2005, i al 2008 es va incrementar en 3,34 milions d'euros més, el que suposa una inversió total de 22,84 milions d'euros fins al 2008.

Aquests fons van sortir de crèdits de l'Institut Català del Crèdit Agrari, que per encàrrec dels Consellers d'Economia i Finances i d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació, va avançar a la Secretaria de Telecomunicacions i Societat de la Informació les citades quantitats. Els pagaments d'aquests crèdits els efectuarà la Conselleria de Governació i Administracions Públiques, que va heretar les competències del Departament d'Universitats Recerca i Societat de la Informació (DURSI) quan aquest va ser suprimit l'any 2006. Una part dels fons també van sortir de convenis entre la Secretaria i les diferents diputacions, consells comarcals i ajuntaments de les zones afectades pel projecte.

3.3.2 Costos unitaris

Fins a finals de març de 2009, el 85,9% dels habitants de Catalunya estaven coberts per alguna tecnologia de banda ampla. D'aquests habitants coberts, el 0,17% han contractat algun servei de la xarxa WiMAX, el que suposa 10.058 clients.

Tot i que amb aquesta tecnologia es pot contractar el servei de dades (internet) però també el servei de veu (telefonía fixa), de manera que el nombre de serveis contractats a finals de març de 2009 era de 15.645.

Amb la inversió fins a finals de 2008 s'ha construït la xarxa que està donant servei a aquests clients, per tant es deriven uns costos unitaris de 2.270,83€ per client i de 1.459,89€ per servei. Tot i que aquests valors aniran variant a mesura que més clients vagin contractant serveis i es vagi ampliant la xarxa fins assolir l'objectiu de cobertura actual.

3.3.3 Assignació de costos

Els plecs de condicions de les diferents fases del Projecte BAR, sempre s'han referit a contractes temporals de desplegament més explotació.

El desplegament que realitza l'empresa licitadora és un projecte del tipus "claus en mà". Això vol dir que l'empresa licitadora es fa responsable de totes les tasques i costos referents a la posada en funcionament de cada torre i de la xarxa sencera. I per tant, que el CTTI paga per cada torre un cop ha comprovat que està en funcionament.

Per tant, l'empresa licitadora ha de pagar:

- Equipament (equips radiants, amplificadors, etc).
- Lloguer de la torre al propietari.
- Tècnics que instal·len els equips.
- Despeses estructurals (sous treballadors, planificació, etc).
- Manteniment.



Amb tots aquests costos sumats, l'empresa licitadora va fer diferents preus per torre en funcionament. Aquests preus depenen del nombre de sectors que tingui la torre, de tal manera que una torre amb més sectors tindrà un preu més elevat.

L'empresa licitadora paga el lloguer de la torre al propietari en cas que el servei es doni des d'una infraestructura de compartició ja existent. En el cas que el Projecte Radiocom hagi hagut de construir una nova torre, l'empresa licitadora no en pagarà lloguer, però el cost d'aquest serà descomptat del preu que cobra al CTTI.

4 Solució tecnològica adoptada

En aquest punt es descriuran els aspectes més significatius de les tecnologies utilitzades en el projecte BAR així com altres tecnologies alternatives utilitzables per prestar el mateix servei.

4.1 Abast de l'anàlisi

L'abast de l'anàlisi de la solució tecnològica, serà purament documental i teòrica des d'un punt de vista tecnològic i de prestacions, ja que no es disposa de mitjans per realitzar proves de camp dels diferents fabricants. Tot i que cal dir que actualment encara hi ha forces fabricants pertanyents al WiMAX Forum que estan en fase de desenvolupament dels seus productes, de tal manera que molts dels seus equips encara no han estat certificats.

4.2 Alternatives tecnològiques considerades

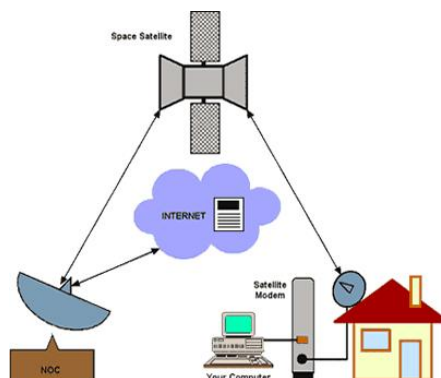
Fins a finals de 2008 s'havien considerat varies solucions tecnològiques per donar l'esmentat servei, en els següents punts es farà una descripció de les solucions que finalment van ser descartades i perquè:

4.2.1 Solució satèl·lit bidireccional

La utilització d'un enllaç per satèl·lit es pot realitzar de manera directa: cada usuari té la seva pròpia antena i receptor, per tant, cada usuari té el seu propi enllaç satèl·lit individual; o també mitjançant una xarxa Wi-Fi per englobar diversos usuaris, pròxims entre ells, en un mateix enllaç satèl·lit. A continuació es descriuran els avantatges i inconvenients que suposen cada una d'aquestes dues opcions.

4.2.1. a) Satèl·lit bidireccional directe

Aquesta solució consisteix en que cada usuari té un transmissor (receptor i emissor) satèl·lit exclusiu per a ell, i l'antena ha d'apuntar a un satèl·lit geostacionari de comunicacions (Hispasat en el cas considerat). Tant la pujada com la baixada de dades es fan via satèl·lit, el que suposa:



Avantatges

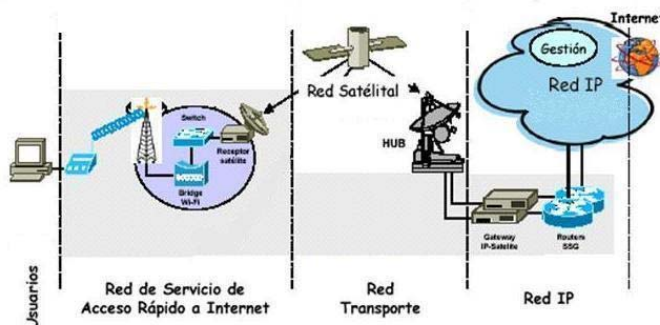
- Cobertura total: Tots els usuaris que tinguin un espai a cel obert des d'on hi hagi visió directa amb el satèl·lit en qüestió, podran tenir connexió sense problemes, sense haver-se de preocupar de la situació de l'estació base (cobertura).
- No requereix desplegament de xarxa de transport: La xarxa d'accés és directament l'enllaç bidireccional satèl·lit (des del terminal d'usuari fins al satèl·lit), i la xarxa de transport estarà formada per un enllaç des del satèl·lit a un HUB terrestre connectat a la xarxa BAR i a Internet. Les despeses en infraestructures es restringeixen al HUB i als terminals d'usuari, quedant la despesa que suposa el satèl·lit inclosa en el preu del servei i donada d'alta.
- Facilitat per agregar nous usuaris: Per afegir un nou usuari només cal la instal·lació de l'antena i receptor a casa seva i la donada d'alta del servei.

Inconvenients

- Dificultats en la multiplexació a l'enllaç de pujada: Com a totes les connexions sense fils punt-multipunt, l'enllaç que dona més problemes és el de pujada dels usuaris, que s'han de multiplexar i sincronitzar d'alguna manera perquè no s'interfereixin entre ells, ja que tota la informació de tots els usuaris va a parar al mateix punt. El problema en el cas del satèl·lit és que hi ha un únic satèl·lit per servir a milions d'usuaris. Hispasat és capaç de donar cobertura a mitja Europa i bona part d'Amèrica, tant sud com nord. Això desembocarà en més inconvenients.
- Nombre màxim d'usuaris: L'empresa que va proposar una solució única de satèl·lit bidireccional directe, va posar una limitació a la seva oferta. No podia donar servei a més de 1900 terminals, ja que l'ample de banda en les comunicacions per satèl·lit és molt restringit, el que també implica el desavantatge esmentat a continuació.
- Cost econòmic: Mantenir un enllaç per satèl·lit exclusiu, encara que sigui de poca capacitat, sol tenir un cost força elevat, derivat del cost de la posada en funcionament del mateix i una vida útil limitada, uns 15 anys.
- Inexistència de substitutius: Si algun usuari no té visió directa amb el satèl·lit, no hi ha manera d'establir la comunicació, s'ha de buscar un punt que sí que en tingui o apuntar a un altre satèl·lit, aquesta última opció és gairebé inviable des del punt de vista de gestió global de la xarxa BAR.

4.2.1. b) Satèl·lit bidireccional + Wi-Fi

En aquesta combinació de solucions, la xarxa d'accés està constituïda per una connexió Wi-Fi, i el backhaul (primera xarxa de transport que ens trobem després de la d'accés) és mitjançant satèl·lit. De tal manera que varis usuaris poden compartir el mateix enllaç satèl·lit. Com sempre, aquesta solució tindrà avantatges i inconvenients:



Avantatges

- Menys enllaços satèl·lit: Tal i com s'ha comentat en punts anteriors, els enllaços per satèl·lit són cars i complicats. Amb una xarxa sense fils Wi-Fi s'aconsegueix que múltiples usuaris puguin tenir accés pel mateix enllaç satèl·lit, típicament es podria donar cobertura a un poble petit amb un sol AP (Acces Point o punt d'accés), o posar-ne varis si es tracta d'una població més gran.
- Maduresa de l'estàndard: Actualment, Wi-Fi és una tecnologia molt madura, molt estesa i amb molts fabricants, el que suposa facilitat a l'hora de trobar equips a un preu assequible i amb un funcionament demostrat.
- Senzillesa i cost dels equips: A l'estar tant estesa la tecnologia Wi-Fi, molts usuaris poden tenir un coneixement previ de la tecnologia, i fins i tot, disposar dels dispositius (ja integrats de sèrie en ordinadors portàtils) abans de tenir el servei, per tant reduir la despesa de l'alta del servei.
- Bones prestacions intracel·lulars: Les connexions entre equips connectats al mateix AP poden tenir molt bona velocitat de transmissió, ja que l'AP enrutarà la informació directament als usuaris finals.

Inconvenients

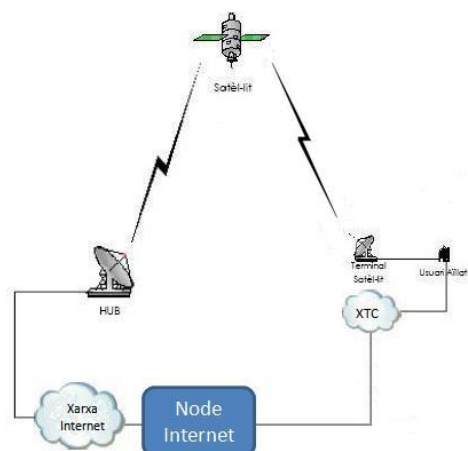
- **Seguretat:** Un dels principals problemes de Wi-Fi actualment és la seguretat. Al ser una tecnologia madura i “antiga” (abril de l’any 2000), quan es va crear l’estàndard, la seguretat no va ser una de les principals prioritats. I amb el profund coneixement actual del mateix, han sorgit moltes maneres de burlar la seguretat d’una xarxa Wi-Fi.
- **Abast:** Un altre problema important per a la utilització d’aquesta solució és l’abast de la senyal, que segons fabricants poden arribar a uns 100m amb una antena omnidireccional convencional. Però aquest abast es refereix en visió directa, per tant, serà força inferior si els dispositius Wi-Fi estan dins els habitatges, i encara pitjor si hi ha arbres, campanars, turons o altres obstacles entre l’AP i el terminal d’usuari. De tal manera que quedaran coberts només els habitatges limítrofs amb l’AP, el que implicarà necessitar-ne molts per cobrir una zona mínimament extensa.
- **Usuaris aïllats:** L’anterior inconvenient implica que si hi ha un usuari una mica lluny de l’AP no tindrà connexió, i si en vol, s’haurà de posar un AP exclusiu per a ell, així com també un enllaç satèl·lit amb els problemes ja comentats que comporta.
- **Col·lapse de xarxa:** Wi-Fi utilitza un sistema aleatori d’accés al medi CSMA/CA (detallat als annexos), això implica que quan molts usuaris volen tenir accés a la vegada, la xarxa comença a perdre rendiment molt ràpidament i pot arribar a col·lapsar-se si no ha estat ben dimensionada.
- **Latència satèl·lit:** El temps que triga una senyal en anar i tornar d’un satèl·lit geostacionari és aproximadament de 0,24 segons (agafant una distància de la terra al satèl·lit de 36.000 Km i una velocitat de propagació de la llum de 300.000 Km/s). Si el protocol a través del que es navega necessita moltes anades i tornades, la velocitat final d’usuari serà perceptiblement lenta.

4.2.2 Solució satèl·lit unidireccional amb retorn per XTC

En aquest cas, a diferència de l’anterior, l’enllaç de tornada es fa mitjançant la Xarxa Telefònica Commutada (parell de coure), de tal manera que es resolen alguns inconvenients, però en sorgeixen d’altres. Només es descriuen avantatges i inconvenients respecte la solució satèl·lit bidireccional directa degut a la semblança dels casos:

Avantatges (respecte la solució satèl·lit bidireccional directa)

- **No és necessària la multiplexació de pujada:** S’aprofita molt més l’ample de banda, ja que el satèl·lit pot enviar totes les dades de tots els usuaris juntes, mentre el receptor sigui capaç d’identificar les que son per a ell, descartant la resta. No calen sistemes d’accés múltiple que degraden l’eficiència.
- **Senzillesa del terminal d’usuari satèl·lit:** El terminal en qüestió, només haurà de ser receptor i no emissor, cosa que disminueix el preu del producte.



Inconvenients (respecte la solució satèl·lit bidireccional directa)

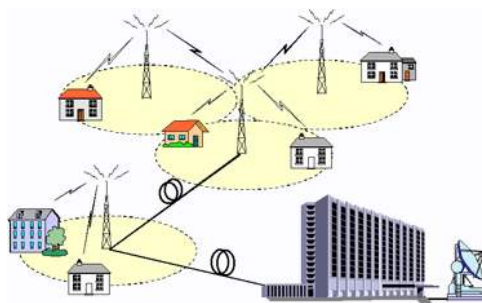
- Necessitat d'una xarxa addicional: Com que la pujada de dades d'usuari no es fa via satèl·lit, és necessària fer-la mitjançant una altra xarxa, en aquest cas, la xarxa telefònica commutada, de la que ja disposen la majoria d'usuaris. Aquest factor incrementarà la complexitat en la gestió de la xarxa BAR. A part, la solució seria inviable per als usuaris que no disposessin de XTC, situació que pot ser comú en entorns rurals.
- Velocitat de pujada limitada: Al utilitzar la xarxa telefònica terrestre, aquest cas també tindrà els problemes inherents a aquesta. Els usuaris aïllats només podran pujar dades a un màxim de 56kbps en els millors casos (que és el màxim que permeten els mòdems convencionals).
- Necessitat d'una línia telefònica suplementària: Els usuaris necessitaran una línia suplementària a la de veu si volen pujar dades i parlar pel telèfon fix a la vegada. Ja que si tinguessin accés a ADSL no els hi caldria la solució satèl·lit. També hauran de tenir un mòdem telefònic a part del receptor satèl·lit, el que suposa un increment de la complexitat de cara a l'usuari.

4.3 Descripció de la solució adoptada

En aquest apartat es descriuran les solucions que sí es van desplegar satisfactòriament en el projecte BAR, tot i que es va passar d'una tecnologia a una altra per les millores que oferia la segona.

4.3.1 Solució LMDS

Inicialment, l'empresa adjudicatària que havia de desplegar la xarxa BAR a les províncies de Lleida i Tarragona oferia una solució LMDS (Local Multipoint Distribution Service). El LMDS és un sistema de transmissió sense fils que consta de varies estacions base repartides pel territori, on cada una d'aquestes bases dona servei a varis terminals de client. Ofereix un enllaç amb una velocitat de connexió de fins a 14 Mbps/sector (típicament 4 sectors per estació base) a repartir entre els usuaris, depenent de la distància i de la qualitat de servei.



Pel cas que afecta al present document, és una solució força adequada pels avantatges que presenta, però com sempre, també té alguns inconvenients:

Avantatges

- Abast: El LMDS pot arribar fins a alguna desena de Km (força major que en Wi-Fi), el que permet cobrir nuclis grans i fins i tot zones disseminades amb poques estacions base.
- Multipunt: Amb una sola estació base es pot cobrir varis usuaris, fins a 250, i fins i tot es pot sectoritzar per augmentar les prestacions del servei amb un màxim de 6 sectors.
- Escalable: Un cop construïda l'estació base, es poden afegir usuaris simplement col·locant una petita antena a l'exterior de la vivenda connectada al terminal que dona el servei, i des d'allà a l'ordinador que es connecti mitjançant una xarxa ethernet.

Inconvenients

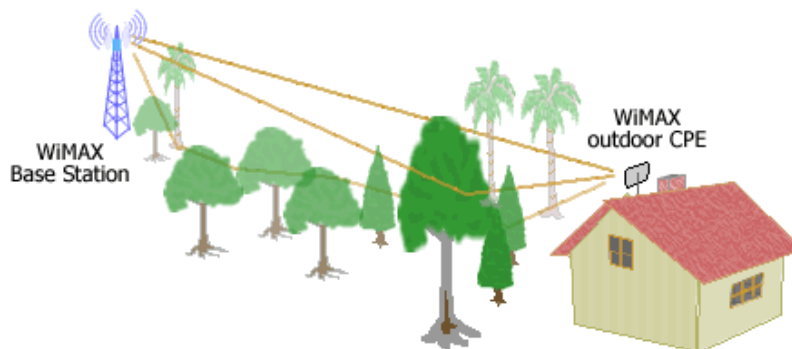
- Line of Sight (LOS): LMDS requereix visió directa entre estació base i terminal (Line-Of-Sight). Això complica el desplegament, ja que hi ha més dificultats per trobar emplaçaments adients, i qualsevol obstacle, com un altre habitatge, vegetació o l'orografia del terreny mateix, pot deixar sense servei a alguns usuaris.
- Desplegament: Requereix un desplegament d'estacions base important, que son molt més complexes i costoses que els terminals d'usuari, i a més han d'estar connectades entre si i a un node d'internet (backhaul), ja sigui amb radioenllaços, amb LMDS mateix o fibra òptica.

4.3.2 Solució pre-WiMAX

Com s'ha dit anteriorment, en el moment de migrar la tecnologia LMDS, els dispositius WiMAX de la majoria de fabricants encara estaven en fase de desenvolupament i certificació. Per tant es va haver d'optar per equips que encara no estaven certificats, és per això que seria incorrecte anomenar-los equips WiMAX, i s'utilitza la nomenclatura pre-WiMAX en aquest punt.

La solució pre-WiMAX és una millora de la solució LMDS, les dues tecnologies donen accés fix sense fils des de estacions base punt-multipunt, però al ser WiMAX una tecnologia més nova, també té més prestacions:

- Més abast: Això implica més cobertura de cada estació base, i per tant, la possibilitat de cobrir el territori amb menys estacions, de tal manera que també es redueixen costos.
- Més capacitat: La xarxa pre-WiMAX permet una velocitat de transmissió més alta, cosa que permet donar connexió a més usuaris o anar augmentant la velocitat de transmissió de cada usuari a mesura que els serveis oferts a través d'internet ho requereixin.
- Més serveis: Amb aquesta xarxa desplegada, no només es dona l'accés a internet de banda ampla, sinó que també es pot donar el servei de telefonia fixa amb veu sobre IP, connectant el telèfon directament a l'equip pre-WiMAX.
- nLOS: Gràcies a les modulacions utilitzades en aquest desplegament, es poden arribar a cobrir usuaris que estiguin propers a la línia de vista (near Line-Of-Sight), però sense estar-ho del tot, ja que son menys sensibles a les propagacions multicamí i les aprofiten en benefici propi. (Apunt: No confondre nLOS amb NLOS, que significa Non-Line-Of-Sight, o sigui que el sistema utilitzat no necessita estar en línia de vista, com per exemple en la telefonia mòbil o la radiodifusió)



En el punt 5 es descriuran més detalladament les noves tecnologies que van sorgint, així com aspectes més tècnics de les mateixes.

4.4 Evolució tecnològica

En aquest punt s'explicarà resumidament que és l'IEEE, l'ETSI, que significa WiMAX i què és el WiMAX Forum:

4.4.1 IEEE



L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) és una organització sense ànim de lucre que es dedica, entre altres coses, a fer estàndards. Aquests estàndards serveixen per a que els fabricants que vulguin, els implementin en els seus productes, i així aconseguir el màxim de compatibilitat, lliure mercat i competència.

L'activitat de l'IEEE es divideix en grups d'estudi, que es fan càrrec de tasques diferents. El grup d'estudi de l'IEEE d'interès en aquest document és l'IEEE 802, que s'ocupa de les xarxes electròniques locals (LAN's) i metropolitanes (MAN's).

Dins d'aquests grups d'estudi també hi ha subgrups, com podrien ser l'IEEE 802.3 (que ha generat els estàndards en els que es basen les diferents versions d'Ethernet), 802.11 (estàndards Wi-Fi), o 802.16 (part dels estàndards WiMAX).

El grup de treball IEEE 802.16 també anomenat "WirelessMAN" (Xarxa d'Àrea Metropolitana Sense fils) s'autodefineix com a "Working Group on Broadband Wireless Access Standards": Grup de Treball per a Estàndards d'Accés Sense fils de Banda Ampla.

Aquest grup és el que va generant tots els perfils de l'estàndard IEEE 802.16, com podrien ser el IEEE 802.16-2004, estàndard fix actual, o IEEE 802.16e-2005, estàndard mòbil.

4.4.2 ETSI

L'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) és l'equivalent europeu de l'IEEE en l'àmbit de les telecomunicacions, tot i que té projecció mundial. Entre els estàndards que ha generat amb gran èxit es troba el GSM, estàndard majoritàriament estès de la segona generació de mòbils (2G).



L'ETSI també forma part del grup 3GPP (3rd Generation Partnership Project). El 3GPP és un acord entre institucions d'arreu del món per realitzar conjuntament les futures generacions de telefonia mòbil, entre d'altres, han introduït satisfactòriament al mercat la tecnologia HSDPA (es parlarà més detalladament sobre estàndards de comunicacions mòbils en punts posteriors).

Però l'estàndard de l'ETSI d'interès en aquest apartat, s'ha creat en el projecte BRAN (Broadband Radio Access Networks), que s'assimila al grup WirelessMAN de l'IEEE. Aquest estàndard és l'HiperMAN (High Performance Radio Metropolitan Area Network), i és molt similar al IEEE 802.16, els quals han assentat la base de WiMAX.

4.4.3 WiMAX

WiMAX son les sigles de "Worldwide Interoperability for Microwave Access" (Interoperabilitat global d'accés per microones), i és el nom de la tecnologia creada pel WiMAX Forum.

Per a molta gent l'IEEE 802.16d i WiMAX fix és el mateix, igual passa amb l'IEEE 802.16e i WiMAX mòbil. Però cal destacar que els estàndards que generen l'IEEE o l'ETSI i el nom comercial de la tecnologia que utilitzen



els dispositius no es refereixen al mateix significat: WiMAX és una tecnologia que es basa en els estàndards 802.16 de l'IEEE i HiperMAN de l'ETSI. Moltes vegades s'utilitza el nom 802.16d per referir-se al WiMAX fix, però a part de no ser el mateix, WiMAX fix es basa en part en l'estàndard 802.16-2004, estàndard posterior encara que similar al 802.16d. També s'acostuma a utilitzar 802.16e per referir-se al WiMAX mòbil, tot i que el nom correcte de l'estàndard actual en el que es basa el WiMAX mòbil és 802.16e-2005.

4.4.4 WiMAX Forum



El WiMAX Forum està format per un conjunt d'empreses tecnològiques de primer ordre que s'han posat d'acord per crear una tecnologia basada en els estàndards que va generant el grup de treball IEEE 802.16, i l'estàndard HiperMAN de l'ETSI en el cas de WiMAX fix, de tal manera que pugi haver-hi interoperabilitat entre tots els dispositius WiMAX amb el mateix perfil certificats per aquest ens.

El WiMAX Forum defineix dos tipus de perfils, els Perfils de Sistema i els Perfils de Certificació:

- Cada Perfil de Sistema conté totes les especificacions (i paràmetres associats a aquestes) de la capa física (PHY) i la capa de control d'accés al medi (MAC) de l'arquitectura OSI (detallat als annexos). També inclou característiques sobre la interfície radio, el mode de duplexat (detallat als annexos) i la potència a utilitzar. Els perfils de sistema més característics de WiMAX són el WiMAX Fix i el WiMAX Mòbil.
- El Perfil de Certificació és una subcategoria del Perfil de Sistema, i determina per a cada una de les freqüències de l'espectre aplicables, l'amplada de canal radio a utilitzar i el mode de duplexat (per exemple: 2.5GHz, 10MHz, TDD). Aquests perfils els genera i certifica el WiMAX Forum segons la demanda del mercat i els fabricants.

Aquests ens d'estandardització i certificació són necessaris per aconseguir la interoperabilitat perquè: que dos dispositius segueixin el mateix estàndard no implica que es puguin comunicar entre ells si són de fabricants diferents, però el WiMAX Forum s'ha encarregat de recollir els estàndards i marcar unes pautes per aconseguir-ho, tot i que els equips han de ser certificats i testejats per comprovar-ho.

És el mateix sistema que ja es va utilitzar per a la tecnologia Wi-Fi amb la Wi-Fi Alliance. Actualment, tots els dispositius certificats per la Wi-Fi Alliance són compatibles entre ells, independentment del fabricant.



La tecnologia Wi-Fi més estesa (802.11b/g) treballa a la banda ISM (Industrial, Scientific, Medical) de 2,4 GHz, ja que és una banda reservada internacionalment per l'ús d'aplicacions no comercials en els tres àmbits que marquen les sigles del seu nom. Per exemple, és la banda a la que funcionen els forns microones.

Però WiMAX ha estat creat per funcionar com a xarxa metropolitana (desenes de km), no com a xarxa local (centenars de metres) com el Wi-Fi. I un funcionament exclusiu en aquesta banda seria inviable per la saturació en general d'aquesta banda i les limitacions de potència, on les aplicacions de curt abast sí que resulten pràctiques.

És per això que WiMAX ha estat dissenyat per treballar en multitud de bandes i amplituds de canal diferents, ja que cada país té la seva pròpia normativa al respecte i en molts casos no coincideixen. Per tant, un dispositiu certificat en un perfil en concret pel WiMAX Forum, pot treballar en qualsevol país independentment de la normativa sense haver de fer cap modificació a priori, cosa que abarateix molt els costos de cara als fabricants. Així com també pot treballar amb qualsevol altre dispositiu que utilitzi el mateix perfil de certificació sigui del fabricant que sigui.

5 Estat de l'art de tecnologies cel·lulars de banda ampla

En aquest punt es farà una explicació de diferents tecnologies útils com a solució del projecte BAR, totes elles d'accés sense fils, terrestres i cel·lulars. Tot descrivint alguns aspectes del seu funcionament i funcionalitats.

Es centrarà l'estudi preferentment sobre la capa física i la d'enllaç, ja que en comunicacions sense fils adquireixen gran importància al ser l'aire un medi totalment compartit i de caire caòtic.

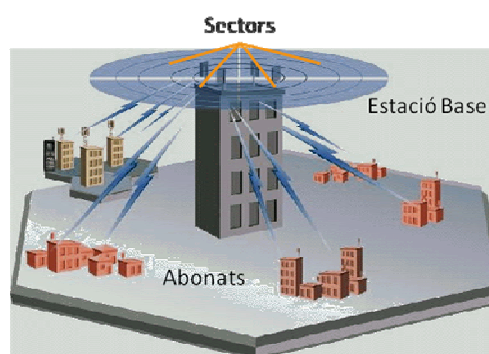
5.1 LMDS

La tecnologia LMDS és la més antiga de les que es descriuran en aquest punt, i per tant, la que menys prestacions té, però la seva importància rau en que és l'antecessora de l'accés sense fils a internet de banda ampla.

5.1.1 Introducció a la tecnologia

LMDS son les sigles de Local Multipoint Distribution Service, o sigui: Servei de Distribució Multipunt Local.

Aquesta tecnologia d'accés consta bàsicament d'estacions base i terminals d'usuari o abonats. Cada estació base dona accés a varis abonats, tal i com es mostra a la figura, per això és una tecnologia multipunt.



Els terminals d'usuari han de tenir una antena exterior fixa que apunti a les antenes de l'estació base i així s'aconsegueix l'accés, tot i que és imprescindible que les dues antenes estiguin en línia de vista per a un bon funcionament, o sigui, que no hi hagi obstacles entremig.

Cada estació base pot tenir diversos sectors independents (típicament quatre) per repartir l'ampla de banda disponible entre menys usuaris (diferents sectors d'una mateixa estació base poden utilitzar les mateixes freqüències).

5.1.2 Accés múltiple

El fet de ser una tecnologia multipunt implica que hi haurà un medi compartit, en aquest cas un determinat ampla de banda que s'haurà de repartir entre els usuaris.

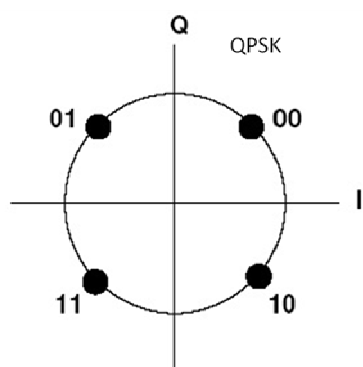
L'accés múltiple en la tecnologia LMDS pot ser mitjançant TDMA o FDMA, depenent dels serveis i prestacions que vulgui donar l'operador als seus abonats i del fabricant dels equips utilitzats.

Una comparativa entre TDMA i FDMA podria ser molt similar a la comparativa entre TDD i FDD que es presenta en el punt 6.1 del present document.

La xarxa que es va començar a desplegar en el projecte BAR utilitzava com a mètode d'accés múltiple el TDMA.

Per a més informació sobre els mètodes d'accés múltiple, consultar els annexos.

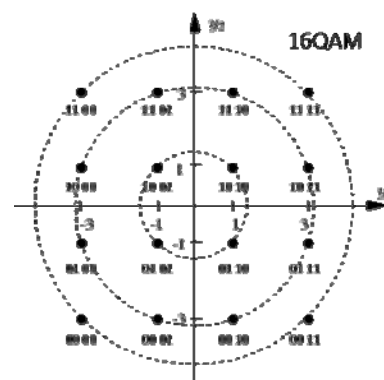
5.1.3 Modulacions utilitzades



Les modulacions que s'utilitzen en LMDS són la QPSK i la 16QAM: Quadrature Phase-Shift Keying (codificació per canvi de fase en quadratura) i 16 - Quadrature amplitude modulation (modulació d'amplitud en quadratura de 16 estats) respectivament. L'elecció d'una o l'altra és un compromís entre velocitat de transmissió (bps), abast de la senyal o radi de cobertura (Km) i disponibilitat o qualitat de servei (% de temps).

Com més símbols tingui una modulació més dades per símbol podrà transmetre i més velocitat

de transmissió aconseguirà. Però la relació senyal soroll que es necessita per desmodular-la també haurà de ser més alta, i per tant s'haurà de reduir la distància entre emissor i receptor (menys abast) o disminuir el marge de potència que es deixa per a esvaïments esporàdics (més temps amb l'enllaç sense connexió i per tant menys disponibilitat al llarg del temps).



5.1.4 Freqüència de treball

Estrictament, l'estàndard LMDS està definit als Estats Units per treballar a una freqüència de 28 GHz, tot i que s'utilitza el mateix nom per designar accessos sense fils de banda ampla (Broadband Wireless Access) a altres freqüències.

També hi ha sistemes "LMDS" que treballen a freqüències de 40 GHz, però a Espanya s'han atorgat llicències per a dues úniques bandes: 3,5 (3,4 GHz - 3,6 GHz) i 26 GHz (24,5 GHz - 26,5 GHz).

Els principals motius per escollir una banda o una altra són els següents:

A freqüències més baixes (3,5GHz) l'atenuació i els efectes meteorològics afecten menys, el que implica que l'abast pot ser major, de 15 a 20 Km. Però l'amplada de banda disponible a aquesta freqüència és menor, per tant la velocitat de transmissió també.

A freqüències més altes (26GHz) l'atenuació per l'aire és molt major, i en cas de pluja intensa es pot arribar a perdre la connexió, el que implica que l'abast queda reduït a uns 3 Km, però l'amplada de banda és major i es pot transmetre a més velocitat, el que pot permetre transmissions en vídeo streaming, mentre que en 3,5 GHz és més complicat.

A part que els equips que treballen en freqüències altes tenen un cost més elevat, que pot arribar a doblar el cost dels equips que funcionen a 3,5GHz.

Es parlarà de l'amplada de banda del canal en el següent punt:

5.1.5 Ample de banda de canal

Cal notar que a la banda de 3,5 GHz l'amplada de banda total a repartir entre les empreses adjudicatàries és de 200MHz (3600MHz - 3400MHz = 200MHz), que es va repartir en adjudicacions de 20MHz de pujada i 20MHz de baixada tal i com es mostra a la nota UN -107 i la seva respectiva figura (figura 26) del CNAF en l'apartat "11.1 Normativa Estatal" dels Annexos.

A la banda de 26GHz, però, es destinen 56 MHz de pujada i 56MHz de baixada per a cada una de les tres llicències que es van atorgar, deixant la resta dels 2GHz per a servei fix d'enllaços punt a punt. En aquest cas la nota del CNAF és la UN – 92 i la figura 27.

5.1.6 Sistema de duplexat

Tal i com s'ha vist en l'anterior punt, el canal de baixada (downlink) està separat freqüencialment del de pujada (uplink) en les dues bandes llicitades, el que implica que el sistema de duplexat serà FDD o Frequency Division Duplexing, explicat en més detall al punt 11.3.1 del annexos.

Tot i que a Espanya les llicències atorgades només contemplen el duplexat FDD, també s'han realitzat desplegaments LMDS amb duplexat TDD o Time Division Duplexing (explicat al punt 11.3.2 del annexos).

5.1.7 Maduresa i estat de desenvolupament de la tecnologia

La tecnologia LMDS ja ha estat àmpliament provada i utilitzada amb èxit des dels seus inicis. Les primeres llicències LMDS es van atorgar als Estats Units el febrer de 1998 per part de la Comissió Federal de Comunicacions a la banda de 28GHz.

Des de llavors han sorgit multitud de fabricants que han desenvolupat els seus productes en les diferents bandes que s'han anat llicitant en diversos països.

L'equipament utilitzat inicialment en el projecte BAR podia operar a 2.5, 3.5 i 5.8 GHz, tot i que només ho feia a 3,5 GHz, que és la banda de la llicència que es tenia atorgada.

A aquesta freqüència, l'empresa licitadora oferia una velocitat de connexió de 14Mbps per sector, però aquesta velocitat s'havia de repartir entre tots els usuaris, i entre l'enllaç de pujada i de baixada de cada usuari, pel que acabava resultant una velocitat de connexió insuficient tenint en compte l'evolució del mercat.

5.1.8 Desplegaments realitzats

Es podria dir que s'han realitzat desplegaments a bona part dels països industrialitzats d'Europa, Amèrica del Nord i del Sud. Així com també a Austràlia i Japó.

Aquest desplegaments han servit per donar accés als centres de grans ciutats i per a comunicacions entre seus de grans empreses, donat que resulta més econòmic que realitzar obres i aixecar el carrer per instal·lar fibra òptica. Però també s'ha utilitzat per cobrir zones rurals on tampoc surt rentable posar centraletes d'ADSL a una distància suficient dels usuaris.

5.2 WiMAX fix (IEEE 802.16-2004 & ETSI HiperMAN)

El nom WiMAX és l'acrònim de Worldwide Interoperability for Microwave Access, o Interoperabilitat Global d'Accés per Microones. Aquesta tecnologia té per objectiu oferir un servei similar al LMDS, però amb millors prestacions.



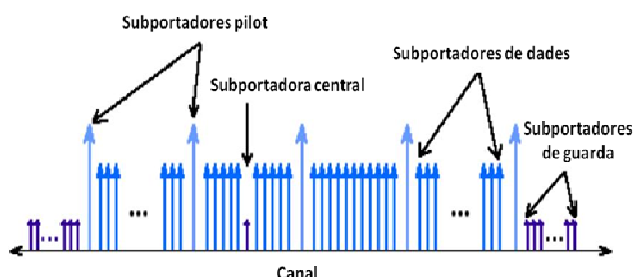
5.2.1 Introducció a la tecnologia

WiMAX continua essent una tecnologia d'accés sense fils a internet de caire punt-multipunt, tot i que també es pot utilitzar per a radioenllaços punt a punt, però no s'aprofita el seu potencial.

Igual que en LMDS, també consta d'estacions base desplegades pel territori i de terminals d'usuari que es connecten a aquestes mitjançant ones de radiofreqüència, el que implica una xarxa cel·lular. Cal esmentar que els estàndards en que es basa (IEEE 802.16-2004 & ETSI HiperMAN), no permeten connexions mòbils, per tant, els terminals d'usuari constaran d'antenes directives fixes que han d'apuntar a les estacions base. En aquest cas, es pot arribar a tenir una connexió encara que no hi hagi visió directa entre les dues antenes, tot i que sí han d'estar-hi properes (near Line-Of-Sight).

5.2.2 Accés múltiple

La multiplexació que utilitza WiMAX fix és OFDM amb un total de 256 freqüències portadores. D'aquestes portadores, n'hi ha que serveixen per transportar dades, i d'altres serveixen per testejar el medi per modular la informació de la manera més adequada segons les condicions de propagació de cada moment (portadores pilot). També n'hi ha que no s'utilitzen (es deixen de guarda) per minimitzar interferències amb canals adjacents.



Més informació sobre l'OFDM als annexos.

5.2.3 Modulacions utilitzades

WiMAX fix és capaç d'utilitzar fins a quatre modulacions diferents per a cada una de les portadores utilitzades. Aquestes modulacions es poden utilitzar i anar canviant dinàmicament segons les condicions del medi.

Si el medi es troba en condicions òptimes, s'utilitzarà una modulació 64-QAM, on es poden transmetre fins a 6 bits per símbol per a cada una de les portadores. Si la qualitat del medi es degrada, es pot canviar la modulació a 16-QAM (4 bits/símbol), QPSK (2bits/símbol) o en el pitjor dels casos BPSK (1bit/símbol), que ofereix poca velocitat de transmissió però molta robustesa enfront dels errors deguts a la propagació per l'aire.

5.2.4 Freqüència de treball

Encara que hi ha dispositius que segueixen el mateix estàndard que WiMAX que funcionen a diverses freqüències, l'organisme estatalitzador d'aquesta tecnologia (el WiMAX Forum), ha generat perfils de certificació per a dues úniques bandes de freqüències: la banda 3.4 - 3.6 GHz, i la banda 5.725 - 5.850 GHz. Però actualment els fabricants només han creat equips certificats WiMAX fix en la banda 3.4 - 3.6 GHz, que és una banda llicenciada a la majoria de països.

A part d'això, existeixen fabricants que han creat dispositius que funcionen a freqüències en banda lliure (no llicenciada), que no corresponen a cap perfil de certificació del WiMAX Forum, però que segueixen fidelment l'estàndard IEEE 802.16-2004. A Espanya, la freqüència lliure disponible per a aquest servei es troba a la banda compresa entre les freqüències 5470 - 5725 MHz, tal i com esmenta la nota UN-128 del CNAF que es troba en el punt 1 dels annexos.

En tot el món s'han realitzat desplegaments de l'estàndard IEEE 802.16d que estan actualment en servei en les bandes de 2.3, 2.5, 2.6, 3.5, 5.4 i 5.8 GHz, essent la banda de 3.5GHz la més utilitzada.

La banda de 2,4 GHz (2400 – 2483,5 MHz) no és d'interès per a WiMAX, ja està molt utilitzada per altres tecnologies, com Bluetooth o Wi-Fi, i l'amplada de banda disponible a Espanya es força reduïda (83,5 MHz).

5.2.5 Ample de banda de canal

Els perfils de certificació que ha generat el WiMAX Forum contemplen uns amplex de banda de canal que son de 3.5 o 7 MHz per a la banda de 3.4 - 3.6 GHz, i de 10MHz per a la Banda de 5.725 - 5.850 GHz. Tot i que actualment només existeixen dispositius comercials certificats de 3.5 Mhz d'amplada de canal.

5.2.6 Sistema de duplexat

El WiMAX Forum, ofereix perfils de WiMAX fix que utilitzen tant el sistema FDD com el TDD a la banda 3.4 - 3.6 GHz, i actualment els fabricants tan han creat dispositius que funcionen en FDD com dispositius que funcionen en TDD.

A la banda de 5.725 - 5.850 GHz només hi ha el perfil TDD, però encara no existeixen equips certificats.

5.2.7 Maduresa i estat de desenvolupament de la tecnologia

Juntament amb el WiMAX Fòrum, els que marquen el desenvolupament d'aquesta tecnologia son els fabricants i els operadors.

Inicialment, l'ens que marca el ritme és el WiMAX Forum, ja que no pot haver-hi dispositius WiMAX si no hi ha perfils de certificació. Quan els perfils de certificació han estat generats pel WiMAX Forum, els fabricants interessats els han d'adoptar i crear dispositius que segueixen els perfils en qüestió. Un cop existeixen dispositius certificats, les operadores han d'escollir entre els dispositius dels diversos fabricants que subministraran als seus clients i que instal·laran a les estacions base.

Es pot dir que aquesta tecnologia comença a estar madura, tot i que la fase de certificació i comprovació d'interoperabilitat encara està activa, i els fabricants encara fan modificacions dels seus productes a mesura que es troben amb problemes d'aquesta índole. Cal dir però, que ja s'han provat àmpliament i amb èxit molts dels perfils generats.

Segons el WiMAX Forum, WiMAX és capaç d'arribar a una velocitat de transmissió de més de 36 Mbps utilitzant un canal de 10MHz d'amplada, el que pot suposar una velocitat final d'usuari de baixada d'entre 1 i 5 Mbps, depenent de l'operadora que ofereixi el servei i la xarxa que hagi desplegat.

5.2.8 Desplegaments realitzats



A la figura es mostren els desplegaments en servei de l'estàndard 802.16d a la banda de 3.5GHz, la única amb equips certificats amb el perfil fix del WiMAX Forum.

Aquesta informació data del 16 d'abril de 2009.

5.3 WiMAX mòbil (IEEE 802.16e-2005)

Aquesta tecnologia també ha sigut creada pel WiMAX Forum, seguint l'estàndard 802.16e-2005 de l'IEEE, però és una tecnologia a part de l'estàndard IEEE 802.16d (802.16-2004).

5.3.1 Introducció a la tecnologia



WiMAX mòbil també és una tecnologia cel·lular del tipus punt a multipunt, on varis terminals d'usuari es poden connectar a una mateixa estació base. La principal diferència respecte el WiMAX fix és que en aquesta tecnologia els terminals d'usuari no han d'estar fixes, ni cal que les antenes dels usuaris apuntin a la estació base ja que son omnidireccionals (radien per igual en totes les direccions), sinó que es pot estar transmetent mentre el terminal es mou com en la telefonia mòbil actual.

Tampoc en aquest cas, és necessari que l'estació base i el terminal d'usuari estiguin en línia de vista.

Aquesta nova funcionalitat té implicacions molt importants a l'hora de crear la tecnologia i augmenta la seva complexitat i cost considerablement.

5.3.2 Accés múltiple

El mètode d'accés múltiple que s'utilitza en WiMAX mòbil és el OFDMA o Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Accés Múltiple per Divisió de Freqüències Ortogonals). És molt similar a l'OFDM, però en aquest cas, s'agrupen subportadores (que no tenen per què ser adjacents) en subcanals de transmissió.

WiMAX mòbil, pot utilitzar aquest mètode de manera escalable (SOFDMA). Aquest, permet adaptar el nombre de subportadores segons l'amplada de canal. El nombre de subportadores en el WiMAX mòbil pot ser de 512, 1024 o 2048.

5.3.3 Modulacions utilitzades

Les modulacions utilitzables en WiMAX mòbil son QPSK, 16-QAM i 64-QAM. En aquest cas també es varia de modulació segons l'estat del medi per aprofitar al màxim l'amplada de banda disponible.

5.3.4 Freqüència de treball

El WiMAX Forum ha generat perfils de WiMAX mòbil a tres bandes diferents: 2.3 - 2.4 GHz, 2.496 - 2.690GHz i 3.4 - 3.6 GHz, aquesta última és la banda més utilitzada per WiMAX fix, però actualment no hi ha equips certificats amb mobilitat que hi funcionin. Només hi ha equips a les bandes 2.3 - 2.4 GHz i 2.496 - 2.690GHz que encara no estan disponibles a Espanya per prestar aquest servei, però s'està estudiant la concessió de llicències a la banda 2.5 - 2.690GHz (explicat en més detall al punt 5.4.4).

5.3.5 Ample de banda de canal

Com s'ha dit anteriorment, en WiMAX mòbil l'amplada de banda de canal es pot seleccionar, i aquesta amplada determinarà el nombre de subportadores, i per tant, la mida de la transformada discreta de Fourier (DFT).

Amplada de banda de canal	# subportadores / mida de la DFT
5 MHz	512
10 MHz	1024
20 MHz	2048

Actualment però, hi ha perfils generats amb unes amplades de 5, 7, 8.75 i 10 MHz. I els equips ja creats pels fabricants en la banda 2.496 - 2.690GHz utilitzen una ampla de 5 i 10MHz de manera dual, i els equips que treballen a la banda 2.3 - 2.4 GHz utilitzen únicament 8.75MHz.

5.3.6 Sistema de duplexat

El duplexat en sistemes mòbils té implicacions importants, tal i com es veurà a la comparativa del punt "6.1 TDD v.s. FDD". Tradicionalment, els sistemes de telefonia mòbil han utilitzat FDD com a sistema de duplexat, així és en l'estàndard GSM. Però actualment ja han sortit estàndards de telefonia mòbil amb duplexat TDD.

WiMAX mòbil però, no és un estàndard de telefonia, sinó un estàndard d'accés sense fils a banda ampla, i en aquest cas, que permet mobilitat.

De moment, el WiMAX Forum només ha generat perfils TDD per al WiMAX mòbil, però s'està treballant per treure un perfil amb duplexat FDD, tot i que no hi ha data prevista.

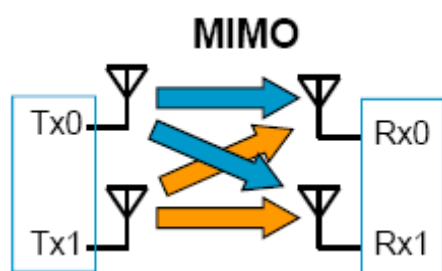
5.3.7 Sistemes de millora

El WiMAX Forum, un cop ha generat un perfil de certificació, hi pot afegir millores posteriorment. Aquestes millores s'agrupen en "onades" de certificació.

Aquest és el cas de l'estàndard WiMAX mòbil, el qual actualment, es troba en la segona onada de certificació, conegut com a WiMAX 802.16e Wave 2.

Les principals millores que ofereix aquesta onada, publicada el desembre de 2007, és l'ús de sistemes de múltiples entrades i múltiples sortides o MIMO (Multiple Input – Multiple Output) i també l'ús d'antenes adaptatives o AAS (Adaptive Antenna System) amb generació de feix o Beamforming:

5.3.7. a) MIMO



MIMO és l'acrònim de Multiple Input Multiple Output, això significa que tant l'emissor com el receptor tenen múltiples antenes, en el nostre cas: l'estació base i el terminal mòbil.

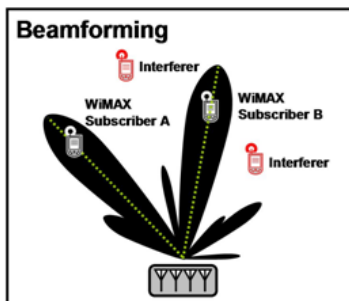
La naturalesa de la propagació en entorns mòbils fa que la recepció en punts diferents pugui arribar a ser molt diferent, encara que aquests punts no estiguin gaire allunyats entre sí.

Al rebre el mateix senyal des de dos punts diferents, aquesta característica pot suposar que si des d'un punt no es rep senyal, pot ser que des de l'altre sí. Combinant les dues recepcions, es pot arribar a millorar molt la recepció total (diversitat espacial).

Si són prou diferents (in correlats) els camins entre les antenes d'emissió i recepció, es pot arribar a enviar senyals diferents des de cada antena d'emissió pel mateix canal, i es podrà desmodular correctament per separat. A una freqüència de 2.4GHz n'hi hauria prou amb uns 6 o 7 cm perquè els camins que recorren les senyals siguin prou diferents.

La configuració que es mostra a la figura "MIMO" representa un sistema amb dues antenes en emissió i dues en recepció (2x2), però pot haver-hi altres configuracions: 2x3, 2x4, 4x2, 3x3, 3x4, 4x4 i més.

5.3.7. b) Beamforming



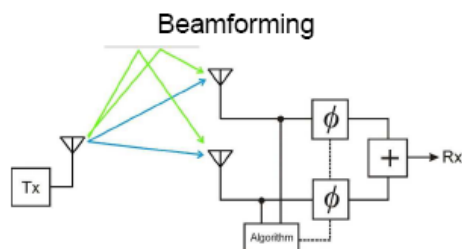
Un dels paràmetres més importants de les antenes és el diagrama de radiació, que descriu quina potència es radia en cada direcció de l'espai. El diagrama de radiació d'una antena en particular dependrà del seu disseny, però sempre serà el mateix i no variarà a no ser que es variïn aspectes físics de la mateixa.

En canvi, si tenim més d'una antena i es combinen els senyals de cada una, modificant el pes (potència a cada antena) i el desfasament (retard entre els senyals de les diferents antenes), el diagrama de radiació resultant dependrà d'aquests factors i

podrà variar amb ells.

D'aquesta manera, es poden realitzar agrupacions d'antenes fixes entre sí, que apuntin cap a llocs diferents en moments diferents, en comptes d'apuntar sempre cap al mateix lloc.

El Beamforming consisteix en un algorisme que segons els senyals que rep, modifica el pes i el desfasament a cada una de les antenes, de tal manera que els feixos principals del diagrama de radiació de l'agrupació apuntin cap als usuaris. Amb aquest mètode, a part d'optimitzar la potència transmesa, també es minimitzen les interferències.



Aquest mètode també és conegut com a Adaptive Antenna System (AAS) o Sistema d'Antena Adaptativa.

5.3.8 Maduresa i estat de desenvolupament de la tecnologia

Tot i que l'estàndard en el qual està basada aquesta tecnologia és de 2005 (IEEE 802.16e-2005), la tecnologia WiMAX mòbil és força incipient. Això és degut a que primer de tot, l'IEEE crea l'estàndard, després el WiMAX Forum agafa l'estàndard i hi afegeix una sèrie de característiques per assegurar la interoperabilitat entre dispositius, creant la tecnologia. Un cop creada, els fabricants comencen a crear prototips i a testar-los, el que els obliga a fer modificacions contínues.

A part, en ocasions, varis fabricants es reuneixen amb els seus dispositius i proven la interoperabilitat in situ, i també fan les modificacions pertinents per aconseguir-la al màxim. Aquestes reunions entre fabricants s'anomenen plugfests, i es demostra la interoperabilitat quan un dispositiu ha funcionat correctament amb tres fabricants diferents.

Tot això implica que des de que surt l'estàndard fins que hi ha dispositius comercials al mercat pot passar força temps, i si tenim en compte que la segona onada del WiMAX mòbil va ser publicada a finals de 2007, no és d'estranyar que els primers dispositius mòbils es certificassin a l'abril de 2008, i continuament es van certificant més dispositius dels diferents fabricants.

Les expectatives del WiMAX Forum sobre la velocitat de transmissió a la que pot arribar aquesta tecnologia és de 15 Mbps en una cel·la d'uns 3 Km. Arribant a pics de 63 Mbps de baixada i 28 Mbps de pujada per sector amb una amplada de canal de 10MHz.

5.3.9 Desplegaments realitzats

A la següent figura es mostren els desplegaments de l'estàndard 802.16e a data 16 d'abril de 2009 funcionant a les bandes de 2.3, 2.5, 2.6 i 3.5 GHz, essent aquesta última la banda utilitzada en més desplegaments:



Cal destacar que el pin groc que hi ha sobre Espanya representa una prova pilot que va realitzar Iberbanda a Murcia, va donar cobertura d'internet de banda ampla dins un autobús. Iberbanda assegura que al març de 2009 dins l'autobús va realitzar amb èxit proves amb les següents funcionalitats: 9Mbps de baixada i 2Mbps de pujada, telefonia IP i videostreaming.

5.4 LTE



LTE (Long Term Evolution o Evolució de Llarg Termini), és la darrera tecnologia del 3GPP (3rd Generation Partnership Project). El 3GPP és una col·laboració entre fabricants i operadors de telefonia mòbil per crear estàndards de telefonia mòbil de tercera generació, aprofitant la base de les xarxes GSM.

Aquest projecte va llençant releases (emissions) a mesura que va desenvolupant tecnologies. La release 99 definia les especificacions de la tecnologia UMTS (Universal Mobile Telecommunications

System o Sistema de Telecomunicacions Mòbils Universal) que funcionava amb CDMA (més informació sobre CDMA als annexos). La tecnologia HSDPA (High Speed Downlink Packet Access o Accés de Baixada de Paquets d'Alta Velocitat) correspon a la Release 5.

LTE correspon a la Release 8, i tot i que ja estan aprovades les primeres especificacions tècniques, encara s'està desenvolupant. Però ja ha aixecat molt interès per les funcionalitats que promet el 3GPP i que es comentaran a continuació.



5.4.1 Introducció a la tecnologia

Aquesta tecnologia és l'evolució de la telefonia mòbil cap a la banda ampla mòbil, i està totalment enfrontada amb el WiMAX mòbil, que és l'evolució de la banda ampla fixa (tant per cable com sense fils) també cap a la banda ampla mòbil, l'anomenada 4G.

La diferència principal d'aquesta tecnologia amb les anteriors de telefonia mòbil és que LTE s'està concebut com a una xarxa All-IP, on els protocols estan pensats per funcionar sobre IP, es poden realitzar trucades amb el protocol VoIP o veu sobre IP, ja que LTE el suporta.

Des dels seus inicis, la telefonia mòbil havia utilitzat la commutació de circuits (per a cada una de les trucades: s'estableix, es manté i s'allibera la comunicació utilitzant un camí reservat i exclusiu). El món d'internet (el protocol IP) sempre ha utilitzat la commutació de paquets (cada paquet de dades té la direcció on s'ha d'entregar i els diferents paquets d'un mateix usuari poden anar per camins diferents).

És per això que el món de la telefonia mòbil ha hagut d'anar passant de commutació de paquets a commutació de circuits a mesura que ha volgut entrar en el món d'internet. Això es porta fent des de l'estàndard GPRS que utilitzava IP (commutació de paquets) sobre GSM (commutació de circuits) per transmetre missatges multimèdia, l'anomenat servei MMS.

5.4.2 Accés múltiple

LTE utilitza mètodes multiusuari diferents per a l'enllaç de pujada i de baixada:

Per a la baixada, s'utilitza el mateix mètode que en WiMAX mòbil, l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Però per l'enllaç de pujada, s'utilitza un nou mètode d'accés múltiple: el SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) també conegut com a DFTS - OFDM (Discrete Fourier Transform Spread OFDM). Tots dos mètodes estan explicats als annexos.

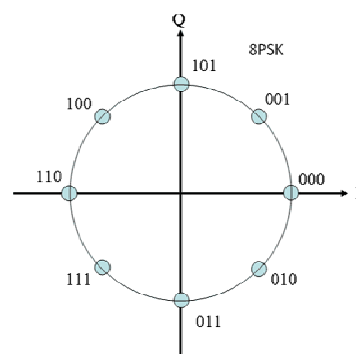
Aquest nou mètode suposa una millora respecte l'OFDMA del WiMAX mòbil, però s'ha de tenir en compte que WiMAX mòbil ja té dispositius que s'han provat amb èxit, i que l'estàndard LTE encara no s'ha enllestit del tot i no existeixen dispositius comercials, pel que encara no és una realitat.

5.4.3 Modulacions utilitzades

Les modulacions utilitzades en LTE també són lleugerament diferents en pujada i en baixada, tot i que algunes coincideixen:

En l'enllaç de pujada les modulacions utilitzables depenen de la qualitat del medi de transmissió són: BPSK, QPSK, 8PSK i 16QAM.

En l'enllaç de baixada les modulacions són: QPSK, 16QAM i 64QAM. Cal notar que les modulacions de baixada són, de mitjana, de més símbols, i per tant més ràpides, però també menys robustes.



Això no té perquè suposar un problema ja que des de fa temps, la majoria de serveis d'accés a internet han sigut asimètrics, donant més velocitat a la baixada. A part, en l'enllaç de baixada és l'estació base qui emet, i aquesta està connectada a la xarxa elèctrica, pel que no tindrà problemes de consum.

5.4.4 Freqüència de treball

A Espanya, la “Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información” (SETSI) va realitzar una consulta pública sobre l'ús de la banda de freqüències entre els 2.5 i els 2.69 GHz, amb la intenció de saber l'opinió de fabricants i operadors.

Aquesta consulta denota la intenció del “Ministerio de Industria, Turismo y Comercio” (Mityc a partir d'ara) d'atorgar llicències a aquesta banda per a l'ús de banda ampla mòbil.

Aquesta banda encara no està llicitada, al no estar les tecnologies encara madures, però si és molt possible que en un futur, el LTE a Espanya funcioni en aquesta banda.

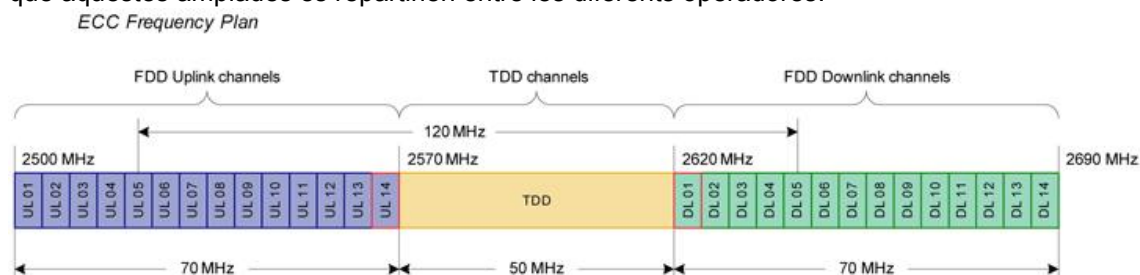
5.4.5 Ample de banda de canal

Aquesta tecnologia també permet molta flexibilitat en quan a l'amplada de canal a utilitzar, podent esser aquesta des dels 1,25 fins al 20 MHz, amb unes amplades de 3,5, 10 i 15 MHz entremig.

5.4.6 Sistema de duplexat

LTE contempla la possibilitat d'utilitzar tant TDD com FDD en totes les amplades de canal abans esmentades.

A la nota resum de les respostes en la consulta del Mityc, es valora com a adequada la proposta de la Comissió Europea de dedicar 2x70 MHz per a FDD i 50 MHz per a TDD, tot i que aquestes amplades es repartirien entre les diferents operadores:



5.4.7 Sistemes de millora

Com qualsevol altra tecnologia d'accés a internet mòbil sense fils que vulgui estar present en un futur, LTE també fa servir els mateixos sistemes de millora que WiMAX mòbil (MIMO i Beamforming) ja que sense ells, és pràcticament impossible arribar a velocitats de transmissió adequades als serveis que es prestaran en un futur proper.

És segur que en un futur sorgiran més sistemes de millora més complexos per poder establir connexions a una velocitat de transmissió i a una distància inimaginables avui en dia.

5.4.8 Maduresa i estat de desenvolupament de la tecnologia

Al 2007 es van aprovar les primeres especificacions tècniques, i segons el 3GPP a finals de 2008 es podrien començar a implementar aquestes especificacions en dispositius comercials.

L'abril de 2008 Ericsson va presentar la primera plataforma capaç de suportar LTE, la M700. I el desembre de 2008 LG va presentar el primer xip per a telèfons mòbils basat en LTE. Això implica que la tecnologia és massa poc madura per a tenir dades fiables de la capacitat a la que pot arribar, però l'objectiu del 3GPP és d'arribar a un throughput mitjà de baixada d'uns 100 Mbps, i de uns 50 Mbps de pujada.

En condicions ideals (laboratori), l'estàndard pot arribar a pics de velocitat de baixada de 326.4 Mbps amb un sistema MIMO de 4x4 antenes i de 172.8 Mbps amb 2x2 antenes amb una amplada de canal de 20MHz i una modulació 64 QAM. La pujada pot arribar a 50 Mbps amb la modulació QPSK i 57,6 Mbps amb 16 QAM utilitzant antena simple. Aquestes velocitats també s'hauran de repartir entre els usuaris d'un mateix sector.

Però fins que no es comenci a implementar comercialment, no es veurà la realitat d'aquestes velocitats.

5.4.9 Desplegaments realitzats

Com ja s'ha comentat àmpliament, la tecnologia és tant nova que només s'han fet proves de laboratori i demostracions, però encara no s'ha implementat en un desplegament comercial.

6 Comparativa d'aspectes tècnics de la capa física i la d'enllaç

En aquest apartat es compararan aspectes tècnics que poden marcar la diferència entre una tecnologia i una altra. El resultat de cada comparació no té perquè donar que un sistema és millor que un altre, o que una tecnologia és més bona que una altra, sinó la tecnologia o sistema més adequat per a un servei en concret en unes condicions específiques.

6.1 TDD v.s. FDD

Tal i com s'ha dit al llarg del document, hi ha dos mètodes per separar l'enllaç de pujada (Uplink) del de baixada (Downlink). Aquests sistemes són el FDD (Frequency Division Duplex o Duplexació per Divisió de Freqüència) i el TDD (Time Division Duplex) o Duplexació per Divisió en Temps, els quals estan explicats als annexos d'aquest document.

Segons el servei o la tecnologia que es vulgui utilitzar, serà més interessant escollir un mètode o un altre, ja que tots dos tenen els seus avantatges i inconvenients.

6.1.1 Comparativa

Com la naturalesa dels dos mètodes de duplexat és diferent, tindran unes característiques intrínseques diferents, les quals es detallen a continuació:

Flexibilitat

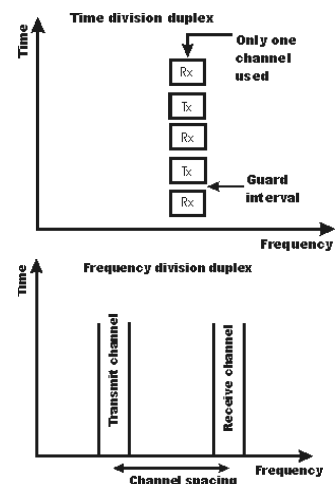
El TDD permet una assignació dinàmica de slots temporals, de tal manera que dins una mateixa trama, es poden anar variant els slots que es dediquen al canal de pujada i els que es dediquen al de baixada segons les condicions del servei que es vulgui oferir. Així com també permet una transmissió asíncrona (diferent velocitat de transmissió de baixada i pujada) de manera senzilla.

En FDD, hi ha la banda de pujada i la banda de baixada, on el normal és que tinguin la mateixa amplada. Per tant, les velocitats disponibles de pujada i baixada seran iguals. Això implica que no es podrà tenir flexibilitat en aquest aspecte.

Guarda

TDD necessita temps de guarda en les commutacions entre pujada i baixada, que anirà augmentant a mesura que l'emissor i el receptor s'allunyin, tot i que aquests temps de guarda acostumen a ser fraccions petites de l'slot temporal. Durant aquests temps el canal romandrà inutilitzat, però a canvi no es desaprofita gens de banda, ja que només hi haurà un canal freqüencial.

FDD en canvi, no necessita temps de guarda i per tant en aquest mètode no afectarà la distància entre emissor i receptor, però sí que es necessita una banda de guarda per evitar interferències entre la pujada i la baixada. Aquesta banda de guarda suposarà ampla de banda inutilitzat durant tot el temps.



Cost

El TDD utilitza el mateix receptor, els mateixos filtres i mescladors per a transmissió i recepció, ja que es realitzen a la mateixa freqüència i alternadament. FDD ho necessitarà per duplicat, el que implicarà un cost de hardware més elevat que pot arribar a afectar al preu final en equips de baix cost.

Sincronització

La sincronització en el TDD és molt més estricta que en FDD, el que suposarà un increment de la complexitat del sistema. Una manera de solucionar aquesta sincronització podria ser l'utilització de receptors GPS en tots els equips per agafar la base de temps d'aquest sistema.

Latència

En sistemes Punt-Multipunt s'ha demostrat que la latència mitjana pot arribar a ser el doble en sistemes TDD que en sistemes FDD, donades les seves característiques.

Beamforming

El Beamforming modifica la direcció del feix de radiació de l'antena segons la posició dels usuaris, però a freqüències diferents les ones es propaguen diferent, per tant, el Beamforming funcionarà molt millor en TDD que només utilitza una única freqüència, que no pas en FDD on se n'utilitzen dues.

6.1.2 Conclusions

Donades les comparacions anteriors, és de suposar que cada sistema tindrà la seva utilitat segons les condicions de transmissió i els serveis demandats:

Per a comunicacions d'accés a internet, on típicament el tràfic de baixada és força major que el de pujada, serà millor un sistema TDD, ja que es podrà assignar dinàmicament el percentatge de baixa i pujada segons la demanda de cada usuari, pel que s'aprofita molt més la xarxa i permet més beneficis als operadors. En canvi, per a comunicacions de veu, el tràfic de baixada és igual al de pujada, pel que amb un sistema FDD s'aprofita prou l'espectre i no hi ha problemes de sincronització ni de latència.

En sistemes a llarga distància, FDD funcionarà millor, ja que no té restriccions pel temps de retard de les senyals (els senyals tarden uns 3.3 µs per recórrer 1km) i no s'incrementa la latència. Pel que per a una xarxa troncal o en radioenllaços bidireccionals de tràfic síncron, el sistema a triar és FDD.

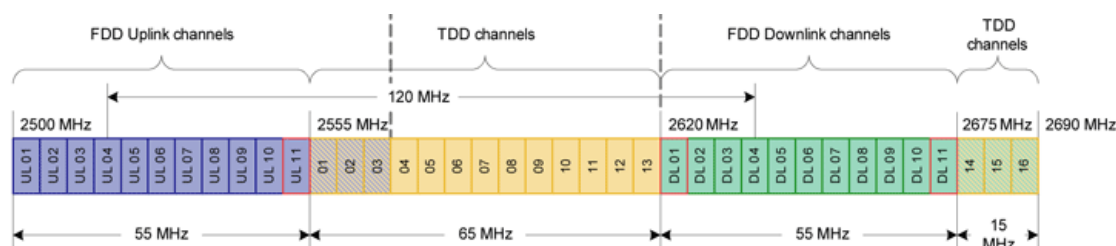
Per a un sistema senzill i de curt abast, on el preu dels dispositius sigui important, serà millor triar TDD com a mètode de duplexat, un exemple d'això podrien ser els telèfons fixes sense fils.

En sistemes amb NLOS (sense línia de vista) TDD funcionarà millor, ja que és menys sensible al multicamí que el FDD, igual que utilitzant Beamforming.

Vistes les conclusions, el sistema més adequat per l'accés a internet sense fils de banda ampla és el TDD, tot i que el FDD funcionarà millor amb la comunicació entre estacions base (backhaul).

És per això que el WiMAX Forum ha generat primer els perfils de WiMAX mòbil amb el sistema TDD. I que en LTE, que ve del món de la telefonia mòbil on històricament s'havia utilitzat el FDD, tots els perfils suporten tant FDD com TDD.

Encara que aquestes conclusions topen amb la proposta de la Comunitat Europea d'assignar molt més ampla de banda a les comunicacions mòbil en FDD que en TDD: 2x70MHz i 50MHz respectivament. Hi ha però, una assignació alternativa que dona 2x55MHz al FDD i 65+15MHz (80MHz) al TDD:



6.2 OFDMA v.s. CDMA

La telefonia mòbil digital va seguir camins diferents a Europa i a Amèrica. A Europa es va triar l'estàndard GSM que utilitzava TDMA/FDMA i que va funcionar molt bé des del principi, d'aquí al desplegament sense precedents d'aquesta xarxa. A Amèrica es va començar amb el CDMA molt abans que a Europa, ja que en principi tenia millors prestacions, però el desplegament era més complicat i s'havia de dimensionar molt bé per les seves característiques.

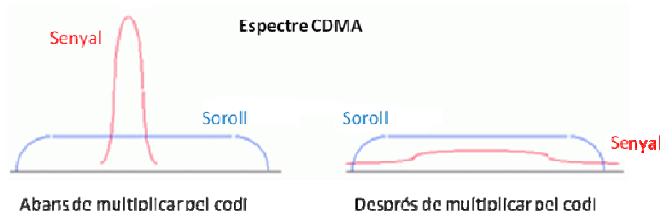
Un cop dominat el CDMA, a Europa es va tirar aquest sistema d'accés múltiple per donar serveis multimèdia als terminals mòbils, es tracta del UMTS o 3era generació.

En la 4rt generació però, tant WiMAX mòbil com LTE han decidit prescindir de CDMA i utilitzar OFDMA, a continuació es veurà perquè:

6.2.1 Comparativa

Espectre

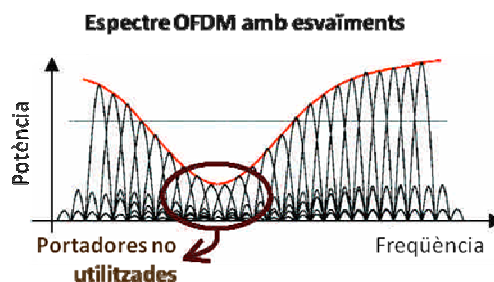
Els dos sistemes tenen funcionaments força diferents, el CDMA envia cada símbol en una portadora única però eixamplada al multiplicar pel codi, de tal manera que queda per sota el nivell de soroll.



En canvi OFDMA reparteix cada símbol en múltiples portadores, on cada una és independent de les altres a l'hora de modular-la. Cada portadora tindrà la modulació que permeti el canal en aquella banda en cada moment, això implica que s'haurà d'anar testejant el medi en tot moment mitjançant portadores pilot.

Robustesa enfront dels esvaïments

En CDMA, si hi ha algun esvaïment en alguna franja de la banda, no afectarà massa mentre aquesta franja sigui reduïda, ja que al repartir-se la potència del símbol a tota la banda, serà poca la potència del símbol afectada.



En OFDMA, si en alguna franja del canal no es pot transmetre, les subportadores corresponents a aquella franja no seran utilitzades, repartint la potència a les subportadores que si es poden utilitzar.

Temps de símbol

L'única manera d'aconseguir velocitats de transmissió elevades (bits/s) en la majoria de modulacions de portadora única com les que utilitza el CDMA, és reduint el temps de símbol: com menys duri un símbol, més símbols per segon es podran transmetre.

En canvi, OFDMA és una modulació multiportadora, on cada símbol està repartit i cada subportadora porta informació, de tal manera que es poden transmetre velocitats altes amb temps de símbol més llargs que en el cas de CDMA.

Control de potència

Cada usuari de CDMA utilitza un codi diferent que en principi no s'interfereix amb els altres, però ocupa potència de la banda. Si la potència d'un usuari és molt més alta que la d'un altre, aquesta pot "tapar" la informació de l'usuari de baixa potència, de tal manera que no tindrà accés.

Això implica que en els sistemes CDMA hi ha d'haver un control de potència molt estricte, de tal manera que els usuaris propers a l'estació base transmetin a menys potència que els usuaris llunyans. Aquesta característica s'anomena en anglès "near-far" (proper-llunyà).

OFDMA no té aquest problema ja que les informacions dels diferents usuaris van en subportadores diferents, i depenent de la distància, s'utilitzarà una modulació o una altra.

Nombre d'usuaris

Degut al problema de "near-far" en CDMA, si s'anessin afegint usuaris dins una mateixa cel·la, la potència "ocupada" seria cada cop més alta, de tal manera que els usuaris que estiguessin més lluny acabarien perdent la connexió. O sigui, si creix el nombre d'usuaris, disminueix el radi de cobertura. Aquest inconvenient del CDMA és conegut com a respiració cel·lular.

En OFDMA si creix el nombre d'usuaris es poden assignar menys subportadores a cada usuari, de tal manera que perdran velocitat de transmissió, però no la connexió. Si hi ha el nombre màxim d'usuaris en una cel·la, no es permetrà l'accés a la xarxa a nous usuaris a la cel·la en qüestió. El radi de cobertura el marcarà la propagació i l'esvaïment de les ones.

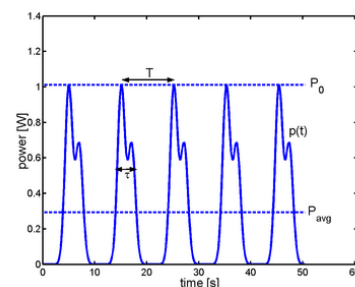
Aquestes fenòmens tindran grans implicacions a l'hora de fer la planificació i el dimensionat de la xarxa per aprofitar la capacitat dels sistemes.

PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)

El PAPR és la relació que hi ha entre els pics de potència més alts i la potència mitjana del senyal, i es pot mesurar en percentatge o en decibels (dB). A partir d'ara s'anomenarà PAR (Peak-to-Average Ratio) per simplificar.

Els valors típics del PAR en CDMA estan al voltant de 8.5 dB, però utilitzant unes seqüències determinades es pot arribar a optimitzar aquest valor fins a uns 5.5 dB.

En OFDMA el valor del PAR depèn del nombre de subportadores, però si es vol transmetre a alta velocitat es preferible que n'hi hagi un nombre gran. Per a 1024 subportadores, el valor del PAR és d'uns 12.5 dB, tot i que es pot reduir fins a uns 8 dB augmentant la complexitat del transmissor. En tot cas, un valor major que en CDMA amb seqüències optimitzades.



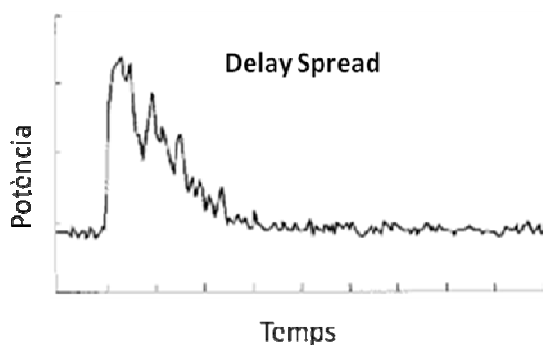
6.2.2 Conclusions

Tots dos mètodes tenen certa robustesa enfront dels esvaïments, però OFDM optimitza més la potència emesa al no transmetre les subportadores de les franges de l'espectre que no es trobin en condicions o on hi hagi massa interferències en un moment donat.

La duració del símbol és especialment important en comunicacions multicamí o NLOS (com les comunicacions mòbils) ja que al propagar-se les ones per camins diferents, trigaran temps diferents a arribar al receptor, de tal manera que un pic de potència enviat des de l'emissor es rebrà al llarg d'un cert temps, arribant els últims rebots amb menys potència ja que hauran recorregut més distància. Aquest fenomen és conegut com a "Delay Spread" del canal.



Si el "Delay Spread" del canal dura més que els símbols que es transmeten, hi haurà interferències entre símbols contigus i no es podrà desmodular bé. Per tant, en aquest aspecte és molt millor l'OFDMA, ja que CDMA tindrà la velocitat limitada pel "Delay Spread" del canal.



En canvi, el valor del PAR de CDMA és inferior al de OFDMA, aquest valor és molt important en els equips portàtils, ja que com més gran sigui, pitjor funcionaran els amplificadors dels dispositius i més potència es dissiparà en forma de calor, per tant, més potència gastaran aquest equips, el que implicarà menys durada de la bateria.

A part d'això, la planificació i el dimensionat de la xarxa serà més complicat amb CDMA degut al problema de "near-far".

Vistes les conclusions, és comprensible que les operadores hagin tendit més cap a OFDMA que cap a CDMA, però cal esmentar que OFDMA continua tenint algun problema important a solucionar.

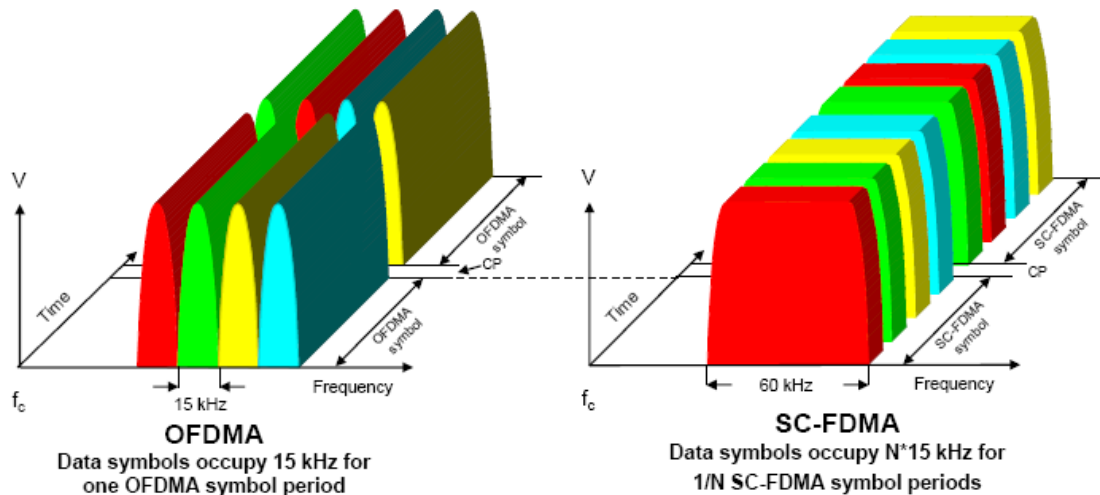
6.3 OFDMA v.s. SC-FDMA

Tal i com s'ha dit amb anterioritat en el present document, OFDM és una modulació que ja s'ha utilitzat en múltiples tecnologies com Wi-Fi o ADSL. Aprofitant al màxim les seves característiques s'ha pogut millorar les prestacions d'alguns sistemes de comunicacions, però encara te alguns inconvenients a millorar.

SC-FDMA (Single Carrier - FDMA) intenta aprofitar les avantatges de l'OFDMA i les prestacions de PAR d'una modulació de portadora única. SC-FDMA també es coneguda com a DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread - OFDM) o OFDM Estesa per Transformada Discreta de Fourier.

6.3.1 Comparativa

A la figura es mostra una representació del senyal OFDMA i SC-FDMA tant temporal com freqüencial:



Espectre

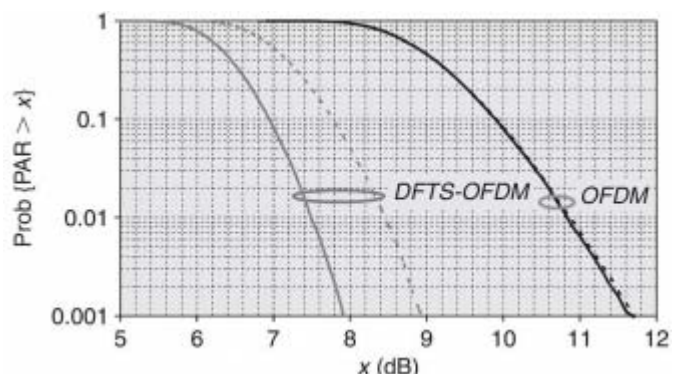
Totes dues modulacions poden ocupar un ample de banda similar, però OFDMA és multiportadora i SC-FDMA és de portadora única (Single Carrier) tal i com diu el seu nom. OFDMA conté N subportadores per símbol i SC-FDMA conté N subsímbols per símbol, tot i que realment aquests subsímbols no són símbols independents, ja que sinó la seva duració seria més curta i perdria les propietats útils per a la propagació multicamí.

Temps de símbol

Tant OFDMA com SC-FDMA tenen duracions de símbol llargues ($66.7 \mu s$ en WiMAX mòbil i LTE), per tant totes dues seran igual de vàlides per afrontar propagacions en entorns multicamí. Totes dues afegixen també un temps de guarda al final de cada símbol per minimitzar interferències, aquest temps és d'uns $4.69 \mu s$ en LTE, el que suposaria una diferència de la distància recorreguda en els diferents camins d'uns 1.4 Km.

PAR (Peak-to-Average Ratio)

Una de les principals diferències entre OFDMA i SC-FDMA és la seva relació entre potència de pic i potència mitjana (Peak-to-Average Power Ratio). A la figura es representa la probabilitat que el PAR d'una senyal valgui un cert valor respecte el mateix valor, tant de OFDM com de SC-FDMA (DFTS-OFDM). Les línies de punts representen una modulació 16-QAM i les contínues una QPSK.



A més, en OFDM el PAR augmenta amb el nombre de subportadores, el que limita la velocitat de transmissió que es podria aconseguir, però en SC-FDMA el PAR es manté constant amb el nombre de subsímbols per símbol.

6.3.2 Conclusions

Un dels problemes de l'OFDMA és que al anar incrementant el nombre de portadores amb la mateixa amplada de canal, les portadores son més estretes i han d'anar més juntes, el que pot provocar errors en freqüència en el receptor. Cosa que implica que les portadores perden la ortogonalitat entre sí i s'interfereixen. En SC-FDMA això no passa ja que és de portadora única.

Tal i com es pot veure a l'anterior figura, el PAR de l'OFDM és de l'ordre de 3 a 4 dB més gran que en SC-FDMA per a una modulació QPSK i de 2 a 2.5 dB per a 16-QAM. Si tenim en compte que 3 dB implica el doble de potència, el consum de SC-FDMA pot ser sensiblement inferior al OFDMA, el que és de gran importància per a terminals que no funcionin connectats a la xarxa elèctrica.

A part, els amplificadors que necessita OFDM han de ser més bons per poder emetre-la correctament, per tant, també seran més cars. Una altra opció seria modificar el senyal introduït sobre les subportadores OFDM per que resultés un PAR menys elevat, però sempre és amb detriment de la qualitat de la senyal o a costa d'un cost computacional elevat, el que també eleva el preu del producte final.

Per tant, és més recomanable l'ús de la modulació SC-FDMA en les xarxes amb terminals mòbils que hagin de suportar grans amplitudes de banda, com a mínim en l'enllaç de pujada, ja que suposarà una duració més llarga de la bateria per unes similars prestacions.

6.4 Espectre: Banda llicenciada v.s banda no llicenciada

L'espectre radioelèctric és un recurs escàs tenint en compte la quantitat de dispositius que es comuniquen o que utilitzen radiofreqüència. Des de radars fins al GPS passant per la radio i la televisió (terrestre i per satèl·lit), els radioenllaços o la telefonia mòbil.

Per que els diferents serveis no s'interfereixin, cada país regula la utilització de l'espectre radioelèctric, reservant freqüències per a diferents usos.

Tal i com es pot veure als annexos, aquesta regulació a Espanya ve determinada pel CNAF (Quadre Nacional d'Atribució de Freqüències) i les seves notes UN, on posa les bandes que es poden utilitzar per a un ús comú (bandes no llicenciades) i les bandes reservades per a determinats serveis, entre ells, la telefonia mòbil o l'accés sense fils de banda ampla, que operen a bandes llicenciades.

Aquestes bandes les atorga el govern en concurs públic a les operadores que presentin la sol·licitud i compleixin els requisits pertinents, i en cobra un determinat import per la seva utilització.

6.4.1 Comparativa

Banda reservada

El fet d'utilitzar una banda llicenciada implica que s'ha pagat per ella, per tant, només qui té la llicència té dret a transmetre, on les interferències vindran del mateix servei o seran de caire ambiental.

Quan s'utilitza una banda no llicenciada tothom qui vulgui hi pot emetre, el que implica que no hi ha cap banda reservada i que dos serveis diferents es poden interferir entre sí, si no hi ha cap tipus de control. Per exemple, tant Wi-Fi, com Bluetooth, i fins i tot els forns microones funcionen a la mateixa banda (2.4 GHz) i es poden interferir entre sí.

Limitacions en potència

Com que en una banda no llicenciada tothom pot transmetre, també ha d'haver-hi una regulació estricta en quant a la màxima potència transmesa permissible. A la banda 2.4 GHz la màxima Potència Isotròpica Radiada Equivalent (PIRE) és de 100mW. I a la banda de 5.4 GHz la PIRE no pot passar de 1 W si el dispositiu que emet té control de potència, i de 500 mW si no en té.

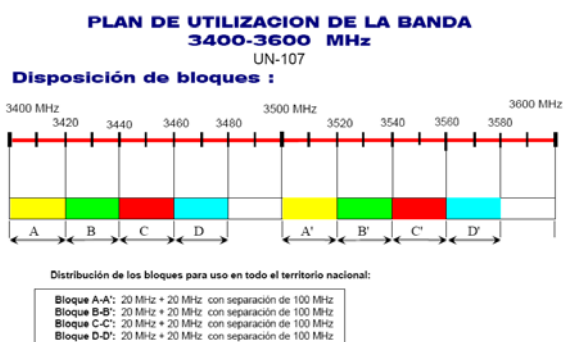
A la nota UN – 107, que és la que regula la banda de 3400-3600 MHz, no hi ha cap especificació sobre la potència màxima que es pot radiar, el que implica que al utilitzar una banda llicenciada, la regulació és molt menys estricta en aquest aspecte.

La potència radiada té implicacions directes amb l'abast de la senyal, i per tant, amb el radi de cobertura: com més potència s'emet, més lluny es pot arribar.

Ample de Banda

L'ample de banda atorgat a les operadores que utilitzen la banda de 3.5 GHz (on funciona actualment la majoria d'equipament WiMAX) és de 20 MHz per a l'enllaç de pujada i 20 MHz per a l'enllaç de baixada.

Mentre que a la banda de 5.4 GHz (5470 - 5725 MHz) es deixen 255 MHz per transmetre.



6.4.2 Conclusions

La banda llicenciada està més regulada i assegura un ample de banda sense restriccions de potència, però s'ha de pagar, el que implica que només les grans operadores la podran obtenir si guanyen les licitacions a l'hora d'atorgar-se la banda.

Les limitacions en potència de la banda 2.4 GHz són prou restrictives com per no permetre un abast de pocs quilòmetres, el que fa impensable un accés de banda ampla metropolitana. Però les restriccions a la banda de 5.4 GHz no són tant severes i sí hi ha equipament 802.16-2004 que funciona correctament a aquesta banda. Tot i que com més es puja en freqüència, més interferències atmosfèriques hi ha (esvaïments per pluja, boira, etc) i també menys abast.

L'ample de banda a utilitzar és molt més gran en la banda 5.4 GHz (no llicenciada) que en la banda 3.5 (llicenciada) però la primera és compartida i la segona no.

Vist això, depenent de l'escenari on es vulgui prestar el servei serà més recomanable una banda o una altra, tot i que sempre és d'agrair, i dona més facilitat a l'hora de prestar qualitat de servei, la banda llicenciada.

Per a desplegaments en l'àmbit metropolitana, queda descartada una solució a la banda 5.4 GHz, ja que, a part de les interferències pròpies d'una ciutat on l'espectre està casi saturat, aquesta banda és més sensible també als efectes perniciosos de la propagació multicamí deguda als edificis alts i demés objectes.

Per a desplegaments en l'àmbit rural però, l'espectre està molt menys saturat, i els obstacles són més grans però en menys quantitat, on la propagació multicamí no afecta tant. Per tant la utilització de la banda 5.4 GHz podria ser una bona alternativa per prestar el servei d'accés sense fils de banda ampla amb costos inferiors. Tot i que segurament la qualitat de servei oferta no seria la mateixa que en una banda llicenciada, i hi ha el perill que en el futur, si moltes operadores es posen a prestar el mateix servei, s'acabin interferint entre sí.

7 Consideracions i conclusions

Aquest és el punt on desemboquen els coneixements adquirits durant la realització dels punts anteriors. Els quals s'han dividit entre consideracions i conclusions.

Les consideracions fan referència a les realitats actuals i/o possibles futures que no estan estrictament lligades amb la realització del present document però que són prou importants dins del seu àmbit com per ser esmentades.

Les conclusions són les deduccions extretes a partir de tot el que s'ha vist fins a aquest punt. Les quals afecten, o poden afectar, directament al desplegament de la xarxa de banda ampla rural per part de la Generalitat de Catalunya.

7.1 Consideracions finals

Les consideracions estan organitzades en tres parts, la primera part tractarà les consideracions organitzatives, la segona les tecnològiques, i la tercera les consideracions ambientals:

7.1.1 Consideracions organitzatives



Generalitat de Catalunya
Centre de Telecomunicacions
i Tecnologies de la Informació

Tal i com s'ha dit, l'encarregat de realitzar el desplegament és el CTTI, que és una empresa pública que depèn de l'administració, el que diferencia aquest desplegament dels duts a terme per empreses o operadores privades.

Aquest fet implicarà una sèrie de consideracions organitzatives a tenir en compte:

- Els desplegaments del sector públic poden semblar lents amb comparació amb els de la iniciativa privada. Això és degut a que en l'àmbit privat el més usual és que els processos siguin el més ràpids possibles i al preu més baix possible, tot sovint sense tenir en compte algunes externalitats (com podria ser la conservació del medi ambient). En l'àmbit públic però, moltes vegades hi ha procediments afegits que sí tenen en compte externalitats, tot i que aquests no són imprescindibles per assolir l'objectiu principal del projecte i en alguns casos el poden alentir.
- El CTTI està subjecte a la Llei de Contractes del Sector Públic, el que implica que cal elaborar un contracte en base a un plec de prescripcions tècniques i administratives d'un concurs públic. En els concursos públics hi ha un temps durant el qual les empreses que vulguin optar a la licitació, han de presentar les seves propostes. Un cop acabat aquest termini s'han de valorar totes les propostes i escollir l'empresa licitadora mitjançant una sèrie de barems concrets identificats als plecs. Fins que no ha estat escollida l'empresa, no pot començar a gestar-se el desplegament. En canvi, una operadora privada pot contractar a qualsevol empresa per que comenci un desplegament en qualsevol moment, el que accelera molt el calendari respecte l'àmbit públic.
- Els projectes de gran envergadura es solen dividir en fases per minimitzar els riscos derivats d'una excessiva durada en temps, com el canvi de tecnologies, canvis en la conjuntura econòmica o social i per evitar l'obsolescència. Però en una empresa pública, un canvi de govern pot implicar que les fases successives pendents de contractar deixin de prioritzar-se i el projecte no es desenvolupi com estava previst inicialment.

7.1.2 Consideracions tecnològiques

Degut a que el sector on es troba el Projecte BAR s'està desenvolupant molt últimament, hi molts aspectes a considerar en aquest apartat, els quals es poden dividir entre consideracions internes, que fan referència al CTTI o l'administració, i consideracions externes, que fan referència al mercat en general:

Consideracions internes

Fractura digital territorial

L'objectiu del Pla Catalunya Connecta és reduir la fractura digital entre les zones urbanes i les rurals. I concretament pel Projecte BAR, implica intentar fer arribar el mateix servei de banda ampla que tenen les zones urbanes a les zones rurals.

Fins ara, a les zones urbanes només hi havia banda ampla sense mobilitat (independentment de la tecnologia), que és el mateix servei que dona el WiMAX fix que està desplegant el Projecte BAR. Però ara ja existeix la possibilitat de navegar per internet amb mobilitat gràcies al 3.5G (HSPA), encara que no a la mateixa velocitat que amb accés fix, tot i que les operadores ja ho venen com a banda ampla.

Això suposa que la fractura digital s'està tornant a obrir, i amb l'arribada de les noves tecnologies mòbils d'accés a internet sense fils es pot obrir encara més.

Concessió banda llicenciada

Per poder prestar el servei de banda ampla sense fils en una banda llicenciada, és necessari posseir una concessió per a la utilització de la banda en qüestió.

Aquestes concessions les atorga l'administració espanyola i la Generalitat no té en possessió cap concessió de les bandes disponibles per ofertar aquest servei, pel que depèn d'alguna empresa privada que sí en tingui per poder fer el desplegament. Aquesta empresa serà l'empresa licitadora del desplegament.

Consideracions externes

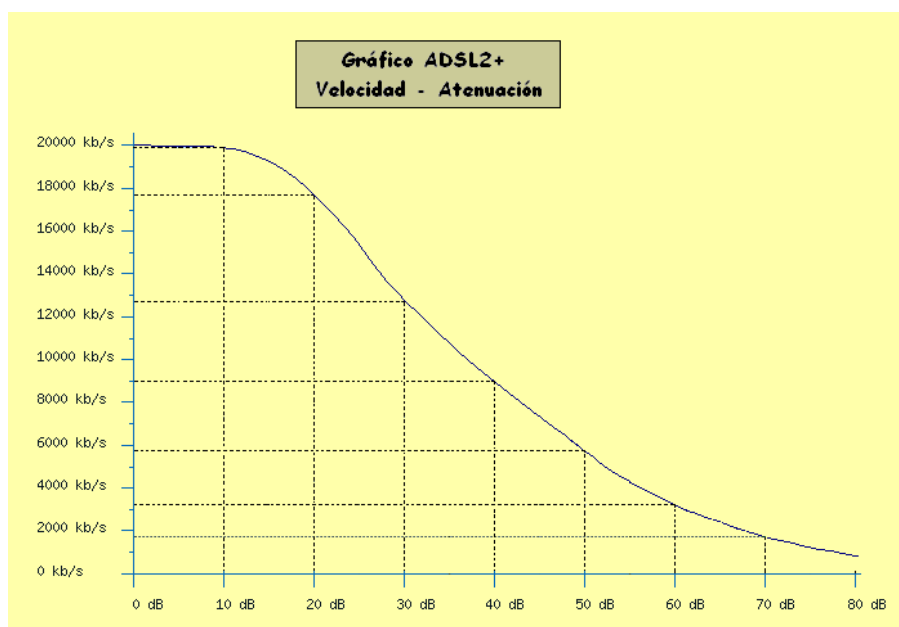
Propagació per aire millor que propagació per coure?

En primera instància, sembla que la propagació a través de cable de coure sigui millor i més fiable que la propagació per aire, ja que la propagació per cable de coure està guiada, pot utilitzar tot l'ample de banda del medi i no hi ha obstacles.

Però la realitat actual fa pensar el contrari, ja que l'ADSL sembla que està al límit i s'està desenvolupant al màxim l'accés sens fils. Això pot estar succeint per varis motius:

- La inversió en infraestructures pel desplegament de cables és molt alta en comparació amb les tecnologies sense fils, ja que s'han d'obrir franges per tot arreu i el cost de les obres fa pujar molt el cost del desplegament. Fins ara, ADSL havia pogut aprofitar el cable de parell de coure que està present l'àmplia majoria dels habitatges.
- La propagació per aire permet tècniques d'enginyeria radio per millorar les prestacions, com el MIMO o el Beamforming explicats anteriorment. En canvi, les característiques del cable de coure no les permeten i les possibles millores ja han estat aplicades.

- Els cables de coure son susceptibles a les interferències electromagnètiques, ja sigui per altres cables de telefonia o de la xarxa elèctrica, els quals poden estar propers o creuar-se. Les interferències que hi ha per l'aire també son molt importants, però amb una bona planificació de freqüències i amb tècniques d'enginyeria radio, es poden aprofitar les característiques del medi en benefici propi, com per exemple, en la propagació multicamí.
- Tot i que sembli que per un cable de coure es pugui utilitzar tot l'ampla de banda del medi, la realitat és que l'atenuació del parell de coure és massa important a freqüències altes (a partir de pocs MHz) com per poder transmetre a una certa distància. De tal manera que la versió més sofisticada de l'ADSL (ADSL2+) arriba només fins als 2,2 MHz (exclusius per a cada usuari) i per aprofitar les seves capacitats, el cable no hauria de superar els 2,5 Km de longitud fins la central. Però l'ampla de banda assignat només per al GSM 900 ja és de 50 MHz, i segons la Nota UN 48 del CNAF l'ampla de banda assignat per a sistemes mòbils de tercera generació és de 155 MHz i està previst assignar-ne més a aquests serveis. Cal dir però, que aquesta amplada de banda disponible s'ha de compartir entre els usuaris d'un mateix conjunt de cel·les (clúster) i que l'atenuació de les ones radioelèctriques varia molt segons la freqüència de les mateixes, però es poden arribar a les poques desenes de kilòmetres segons les condicions de propagació i les tecnologies.



El desenvolupament de la banda mòbil depèn del desplegament del FTTx

Tal i com estan les tecnologies actualment, sembla que l'ADSL està arribant al límit que suporta el parell de coure, però les tecnologies sense fils es continuen desenvolupant amb resultats satisfactoris. Per tant, es de suposar que en un futur l'única tecnologia que podrà rivalitzar amb l'accés sense fils serà el FTTx (fibra òptica propera a l'habitatge i la resta de la xarxa per qualsevol altre medi), però és cara de desplegar. Si no es desplega, l'accés sense fils acabarà amb l'accés amb fils i els sistemes de visió directa seran migrats a sistemes que no en necessitin.

Desapareixerà la banda ampla fixa?

Si amb les futures tecnologies d'accés sense fils a internet de banda ampla, els terminals mòbils (o nomàdics) son capaços de donar majors prestacions que els terminals fixes a un preu similar, la banda ampla fixa acabarà per desaparèixer, així com la telefonia fixa està cada cop més en desús.

WiMAX fix a les acaballes

Ara com ara, el WiMAX Forum ha deixat de generar nous perfils de la tecnologia WiMAX fix, centrant-se només amb el WiMAX mòbil. Això dóna la idea que la tecnologia WiMAX fix comença a no ser una opció de futur, que cada cop es realitzaran menys nous desplegaments i d'aquí a pocs anys quedarà àmpliament superada.

LTE acabarà amb WiMAX mòbil?

Actualment s'estan desplegant xarxes de WiMAX mòbil però no de LTE, que encara està en proves. Però les prestacions de LTE són millors i té el recolzament de tota la indústria de la telefonia mòbil, mentre que WiMAX no. Això pot suposar que si en un futur proper (menys d'un any) es comencen a desplegar xarxes LTE, aquesta tecnologia pot acabar amb el WiMAX abans que s'estableixi definitivament. Però per contra, si l'LTE triga més, WiMAX pot tenir un mercat força important, dependrà de les inversions de les empreses que recolzen cada una d'aquestes dues tecnologies.

7.1.3 Consideracions ambientals

L'impacte ambiental més gran resultant d'un desplegament com aquest, és la construcció de torres en el medi natural, així com fer-hi arribar l'escomesa elèctrica. El consum dels equipaments de les torres també té impacte, però és menys destacable que l'anterior. Per reduir aquests impactes hi ha varies possibilitats.

Existeixen serveis, on diferents operadors despleguen diferents xarxes de la seva propietat, per tant hi ha més d'una xarxa per prestar el mateix servei i cada xarxa desplega les seves pròpies torres, el resultat és que hi ha més torres del que seria necessari. Aquest és el cas de la telefonia mòbil, i ho serà pel servei de banda ampla mòbil quan els operadors el donin.

- Si s'incentivés als operadors a compartir una mateixa xarxa, només hi hauria el nombre de torres estrictament necessari per prestar el servei adequadament, es reduirien costos i el consum elèctric, però s'hauria de determinar la propietat de la xarxa o dels emplaçaments, com gestionar-la, preus de lloguers, etc. L'ens més adequat per incentivar les operadores privades és segurament l'administració pública.
- Actualment, la majoria de torres de radiocomunicacions que hi ha arreu del territori són per prestar o transportar els serveis de TV-TDT, telefonia mòbil i cada cop més banda ampla. Si es poguessin prestar aquests tres serveis des de la mateixa xarxa, a part de reduir el nombre de torres, també es reduiria el nombre d'equipaments (tot i que serien més complexos) i el consum elèctric. Per contra, la xarxa de transport hauria de tenir molta més capacitat, el que implicaria desplegar fibra òptica entre les torres que donen accés o ampliar els radioenllaços. I a part, hi hauria la necessitat de redistribuir l'ample de banda assignat per a cada servei per part de l'administració espanyola.

7.2 Conclusiones finals

Les conclusions, igual que les consideracions, estan distribuïdes en organitzatives, tecnològiques i ambientals.

7.2.1 Conclusiones organitzatives

L'estructura organitzativa del Projecte BAR és força sòlida, tenint presents i controlant tots els aspectes importants i significatius d'un desplegament d'aquestes característiques.



Les tasques a dur a terme estan ben definides i tot el personal interacciona fluidament. Però té alguns inconvenients intrínsecs difícils de resoldre, així com també certs punts que es podrien millorar per donar un valor afegit durador.

Respecte als inconvenients organitzatius intrínsecs al Projecte BAR, els més destacables són:

- Necessita molta coordinació amb el Projecte Radiocom i depèn d'aquest per poder avançar, ja que és aquest projecte el que s'encarrega de proporcionar les noves torres i fer els estudis radioelèctrics, i si no hi ha torres on penjar els equips, no es pot prestar el servei.
- L'abast, la planificació i la metodologia de seguiment estan condicionades per l'agenda política i els compromisos territorials, donat que és l'administració el promotor del projecte i qui el comunica al gran públic. Això pot afectar al rendiment ja que implica invertir hores de feina en prioritats variables i es necessita un temps per a l'adaptació a possibles canvis.
- Un desplegament a nivell nacional és forçosament lent al haver-hi multitud d'emplaçaments (en una ciutat seria menys problemàtic), però l'evolució de les tecnologies d'accés a internet està canviant i modificant-se ràpidament, el que obliga a estar molt atent a aquests canvis tecnològics per no quedar-se enrere en l'accés a la societat de la informació.

També existeixen alguns aspectes que s'han de tenir en compte i que es podrien millorar, tot i que la majoria d'aquestes millores estan supeditades a un increment dels recursos assignats al Projecte, els quals ja son una mica escassos.

Aquests aspectes són:

- El Projecte BAR hauria de tenir un enfocament totalment estratègic, tenint molt present en la planificació i el seguiment la de gestió del canvi. També hi hauria d'haver una comunicació fluida amb fabricants i operadors per estar al dia dels seus últims serveis i/o productes, per tal d'anar instal·lant en tot moment el darrer producte fiable sorgit al mercat. Així s'aconseguiria allargar una mica el reciclatge de la xarxa.
- S'hauria de tenir en compte el temps de desplegament i comparar-lo amb la vida de la tecnologia. Així com també contemplar en la planificació que l'equipament s'haurà de modificar i millorar cada un cert temps, abans que els equips acabin la seva vida útil.
- Si hi hagués una bona gestió del canvi de tecnologies, implicaria més formació pels treballadors per estar sempre al dia en aquest aspecte, el que podria suposar un incentiu per a ells.

Però per poder dur a terme la gestió del canvi correctament, s'han de tenir molt presents altres aspectes, i caldrà:

- Comprovar que la xarxa de transport està preparada per a les noves tecnologies, tant en capacitat com en accessibilitat (si arriba fins on s'ha de donar el servei).
- Comprovar l'abast real de les cel·les de les noves tecnologies (radi de cobertura).
- Tenir en compte l'amortització de la xarxa desplegada i fer un pla de viabilitat per a la nova.
- Ajustar el moment en que el cost del desplegament de la nova tecnologia compensi el servei rebut per part dels usuaris (quan la tecnologia antiga es comenci a quedar curta en els serveis que presta).
- Monitoritzar el mercat en tot moment fent benchmarking del mateix, així com l'avaluació continua del canvi de tecnologies.

7.2.2 Conclusions tecnològiques

Dins de les tecnologies sense fils, i vistes les opcions i les respectives explicacions en els anteriors punts, es pot concloure que WiMAX fix és actualment una tecnologia adequada per prestar el servei d'accés a internet de banda ampla a un cost raonable i amb un servei similar a les tecnologies majoritàries en entorns on aquestes no arriben.

Això és degut a:

Les tecnologies sense fils anteriors a WiMAX no donen prou capacitat, seguretat i/o baixa latència per igualar a les majoritàries. Un exemple d'aquestes serien el LMDS, Wi-Fi o internet per satèl·lit.



Les noves tecnologies que estan sorgint són (i han de ser) amb mobilitat, però encara són tecnologies massa incipients com per realitzar un desplegament a gran escala en l'àmbit rural, el que suposaria un risc perquè:

- Encara no se sap amb certesa la velocitat mitja final d'usuari a la que podran arribar, el nombre màxim d'usuaris per conservar una bona velocitat de transmissió, ni el radi de cobertura d'una cel·la o sector, ja que només es pot comprovar empíricament.
- Encara no hi ha prou disponibilitat i varietat de terminals d'usuari per al gran públic.
- Encara no està clara la banda a la que funcionaran ni l'ample de banda que se'ls hi assignarà. La banda de 3.5GHz ja està disponible per prestar el servei i s'està pensant en atorgar llicències en la banda de 2.5 a 2.69GHz però encara no s'ha fet.
- Els equips encara poden patir moltes modificacions i millores a mesura que els fabricants descobreixen mancances, es van actualitzant els perfils i les onades de certificació.
- L'equipament de l'estació base és molt més complex i pot arribar a doblar el preu de l'equipament per a WiMAX fix. Tot i que el preu dels terminals d'usuari s'hauria de reduir amb l'economia d'escala.

D'aquesta manera, el més adequat seria continuar el desplegament amb la tecnologia WiMAX fix, amb equips amb més prestacions si n'hi ha de disponibles. Però s'hauria de començar a gestionar la possibilitat d'un canvi de tecnologia en un futur no llunyà (menys de 4 anys), ja que aquest canvi hauria d'estar preparat quan la tecnologia estigui llesta. Si es fa a l'inversa (s'espera a que la tecnologia estigui llesta per començar a gestionar el canvi), es necessita molt temps per planificar el projecte i realitzar el desplegament, i es pot córrer el risc que la tecnologia comenci a entrar en obsolescència quan s'acabi el desplegament. Cal recordar que el desplegament de la xarxa BAR es va iniciar l'any 2003 (amb tecnologia WiMAX fix a partir de la tardor de 2004).

També cal dir que fins ara s'està desplegant accés domèstic, i l'accés empresarial es pot quedar una mica curt segons les necessitats de les empreses en qüestió, però amb la propera tecnologia és podrà oferir un accés a la banda ampla professional i adequat a totes les necessitats, tant empresarials com domèstiques.

7.2.3 Conclusions ambientals

Tal i com s'ha dit a les consideracions, l'impacte ambiental més gran d'aquests tipus de desplegaments són les torres repartides arreu, és per això que el fet d'utilitzar una metodologia per aconseguir desplegar el mínim nombre de noves torres, compartint els diferents serveis, i aprofitar al màxim les ja existents és una molt bona opció. La metodologia que s'ha seguit per al Projecte BAR i el Pla Catalunya Connecta és el POAIR: Pla d'Ordenament Ambiental d'Infraestructures de Radiocomunicacions, que fins i tot proposa la mimetització d'aquelles torres que puguin tenir un impacte paisatgístic sever.

Seria aconsellable que amb els nous desplegaments, l'administració apliqués una ordenació de l'estil que s'està utilitzant, fins i tot a zones urbanitzables, per tal de reduir el consum i reutilitzar infraestructures.



Si es poguessin prestar els tres serveis esmentats abans amb una única xarxa, potser a la iniciativa privada li sortiria rentable arribar a nuclis on ara no li surt per a un únic servei.

7.3 Nous reptes de la banda ampla: La banda ampla en el futur

El que és segur, és que bona part del negoci (sinó tot) de la banda ampla en el futur passarà per la mobilitat. Però a part d'afegir la mobilitat als serveis fixos que ja tenim, sorgiran nous serveis i noves necessitats.

Amb l'increment de les velocitats de transmissió cada cop és més factible arribar al triple play a través del món d'internet amb xarxes all IP, això significa donar els tres serveis (TV + internet + telefonia) mitjançant l'accés a internet de banda ampla. Si a més li afegim la mobilitat, llavors estem parlant del quàdruple play.

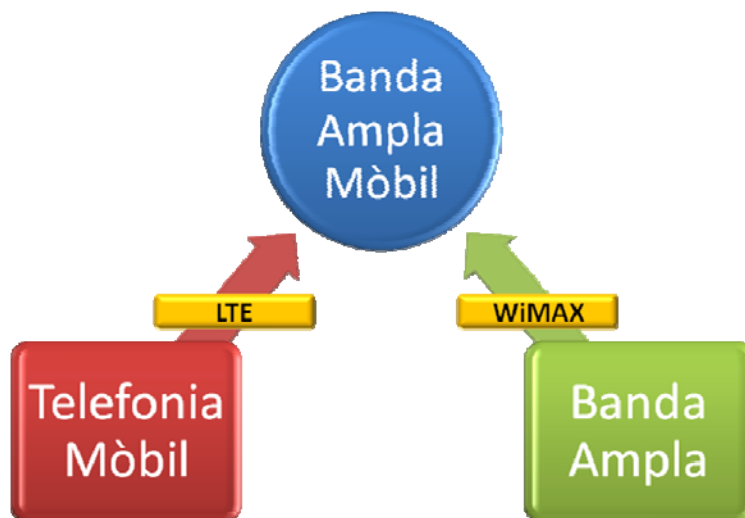
És de preveure que la nova banda ampla mòbil canviarà els hàbits de bona part de la societat i la manera de moure's i de fer, així com ja ho ha fet la telefonia mòbil:

- Al viatjar no caldrà portar mapes a sobre, ja que es podrà descarregar la cartografia necessària a l'instant, i també tota la informació sobre els serveis disponibles al voltant, com restaurants, parades de transport públic, museus, etc.
- Si tota la informació està disponible en tot moment, l'emmagatzematge particular de dades que estan a la xarxa anirà decreixent, així com música i pel·lícules, ja que no cal descarregar-se coses si es poden tenir amb streaming o on-line, com ja es fa amb els webmails. Per exemple, es podrà escoltar qualsevol radio de tot el món a través del telèfon mòbil i sense necessitat de receptors de FM ni les respectives antenes (grans amb comparació amb les de telefonia mòbil).
- És possible que en l'àmbit domèstic acabem tenint receptors de banda ampla mòbil, com els mòdems UMTS/HSPA USB actuals, però que siguin capaços de donar els tres serveis per separat i sense fils. Les televisions es connectarien amb el mòdem mitjançant Wi-Fi o Bluetooth o alguna millora d'aquests protocols, i el mòdem subministraria la senyal de televisió o de vídeo sota demanda connectant-se a la xarxa de banda ampla mòbil.

La incertesa més gran del futur de la banda ampla mòbil, és amb quina tecnologia es subministrarà. Com s'ha estat dient durant el present document, actualment hi ha dues opcions: WiMAX mòbil o LTE. Aquestes, venen de móns diferenciats que fins ara mai havien sigut competència:

WiMAX mòbil ve del món de les connexions electròniques entre ordinadors (IEEE), de les xarxes ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, ADSL, etc. Bàsicament del món de la informació i internet que cada cop més, està tendint cap a la mobilitat.

En canvi, LTE ve del món de la telefonia mòbil digital, que va començar amb el GSM a Europa. Aquest món, al tendir cap a la banda ampla, entra en competència amb el món de la banda ampla que tendeix cap a la mobilitat.



8 Propostes d'actuació

Les possibles actuacions de millora a fer a la xarxa BAR, van lligades a l'objectiu que vol aconseguir el Pla Catalunya Connecta mitjançant el Projecte BAR. Per part de la STSI, aquest objectiu és: *“Fer arribar l'accés a Internet de banda ampla a totes les poblacions de més de 50 habitants de Catalunya que no tinguin cobertura del servei ADSL abans del 2010, per tal de suprimir la fractura digital territorial i garantir la cohesió del país”*.

Actualment, el desplegament que realitza el Projecte BAR dona un servei de connexió fixa a internet entre 1 i 4 Mbps amb una garantia de caudal del 10 al 20% segons el tipus de connexió que es contracti, el preu del qual oscil·la entre 39 i 145 €/mes segons els serveis, depenent si es contracta telefonia fixa i banda ampla o només banda ampla.

Aquest desplegament està previst que s'acabi abans del novembre de 2010 i l'empresa licitadora té una concessió d'explotació de la xarxa fins el 31 de desembre del 2012, però que pot ser prorrogable.

8.1 Primera proposta: Esperar l'oportunitat

Dins de l'objectiu mencionat, el qual avarca fins al 2010, la primera proposta és la més senzilla, la que presenta menys riscos i la requereix menys decisions a curt termini. Aquesta proposta significa deixar el desplegament i l'explotació tal i com estan, i esperar fins al final de la concessió de l'empresa licitadora per prendre una decisió sobre l'evolució de la xarxa BAR.

Avantatges

L'avantatge més significatiu d'aquesta proposta és que a finals de 2012, el futur de la banda ampla estarà més clar i encaminat, i es podran prendre decisions amb més coneixement del mercat per a possibles renovacions del servei de banda ampla en el món rural.

Amb aquesta proposta també es dona més temps per amortitzar la xarxa actual, el desplegament de la qual es va iniciar l'any 2003. Des d'aquest punt de vista, la xarxa sortiria més “rentable”.

Inconvenients

L'abast temporal del Projecte BAR està marcat fins el 2010, i aquesta proposta no preveu modificacions fins al 2013. De tal manera que l'evolució de la xarxa es quedaria aturada en un món que evoluciona ràpidament.

L'objectiu actual fa referència a la “fractura digital territorial”, que és la diferència de l'accés als serveis de la societat de la informació segons la situació geogràfica. En aquest aspecte, a finals de 2012, la fractura serà gran, ja que l'àmbit urbà tindrà capacitats majors i farà temps que existeix banda ampla amb mobilitat, prestada per la iniciativa privada, i en l'àmbit rural es tindrà les mateixes prestacions que s'estan desplegant ara i no hi haurà banda ampla amb mobilitat o serà molt limitada.



8.2 Segona Proposta: Redefinir la banda ampla rural

Com que l'objectiu del Projecte BAR arriba fins l'any 2010, la segona proposta d'actuació marca la necessitat de definir un nou objectiu a partir de llavors si es vol mantenir reduïda la fractura digital territorial de manera duradora.

Aquest nou objectiu s'ha de derivar d'una redefinició de l'ampliació dels serveis de l'accés universal que està duent a terme la STSI mitjançant el Pla Catalunya Connecta.

Dins d'aquest context, un dels punts importants en aquesta redefinició és si el servei de banda ampla que proporciona la Generalitat ha de passar per la mobilitat. Decisió que haurà de prendre al STSI.

Depenent del resultat d'aquesta decisió, seran aconsellables unes actuacions o unes altres. Tot seguit es presenta una subproposta en cas que es decideixi la necessitat de mobilitat, i una altra subproposta que no la tindrà en compte. Però ambdues subpropostes obligaran a la STSI a realitzar estudis per determinar el cost econòmic i el temps d'actualització de la xarxa BAR.

8.2.1 Subproposta 1: Mobilitat

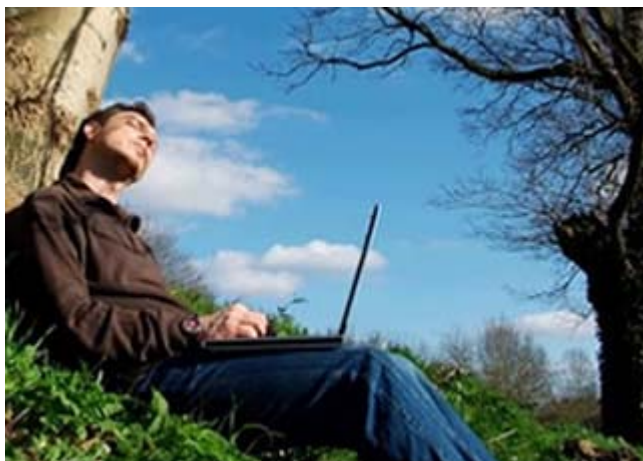
Si es decideix subministrar banda ampla amb mobilitat a la majoria de població de Catalunya, s'ha de canviar i redissenyar la xarxa BAR per adequar-la a aquesta nova prestació tal i com s'ha comentat a les conclusions. Això significa migrar els equipaments actuals amb tecnologia WiMAX fix a WiMAX mòbil o LTE, tot i que aquesta migració no es duria a terme com a mínim fins acabar el desplegament o la concessió de la xarxa actual.

Avantatges:

Al desplegar banda ampla mòbil al món rural, s'està subministrant el mateix servei en l'àmbit urbà i rural, pel que la fractura digital territorial queda reduïda al mínim, i la gairebé totalitat de la població gaudiria de l'oportunitat de tenir accés a internet amb prestacions similars.

Els usuaris actuals de la xarxa veurien incrementades les seves prestacions, amb més velocitat d'accés i amb la nova funcionalitat de mobilitat.

Catalunya esdevindria capdavantera en la societat de la informació, al tenir interet mòbil a la majoria del territori.



Inconvenients:

El fet de ser capdavanter té riscos inherents, ja que no es compta amb experiència d'altres desplegaments per saber els problemes que poden sorgir ni les prestacions reals que pot donar la tecnologia desplegada en el món rural.

El cost de la renovació de la xarxa pot ser força elevat, ja que els equipaments per a la mobilitat poden arribar a doblar els equipaments de tecnologia fixa. Però si s'aconsegueix desplegar la nova xarxa amb les torres ja construïdes per l'actual, aquest cost seria més assumible.

8.2.2 Subproposta 2: No mobilitat

Si es decideix que la mobilitat no és un factor clau per reduir la fractura digital, el que si ho serà és la velocitat de connexió pels usuaris i sobretot pels polígons industrials, la qual és de preveure que anirà augmentant en els propers anys.

Per aconseguir major velocitat de connexió amb la mateixa tecnologia i el mateix nombre d'usuaris, no hi ha més remei que atorgar més ampla de banda a cada usuari o utilitzar millors equipaments amb més eficiència espectral (que puguin transmetre més dades amb el mateix ampla de banda).

Però donat que no sembla que la tecnologia utilitzada actualment per la xarxa BAR (WiMAX fix) hagi d'evolucionar gaire, el millor seria ampliar la xarxa actual posant més sectors per estació base, o sigui posar més antenes a cada estació i que cada antena cobreixi un territori més reduït no solapant-se amb les altres. Cada antena podria utilitzar tot l'ampla de banda disponible, però a repartir entre menys usuaris, del que derivaria una major velocitat de connexió.

Aquesta actualització es podria començar tant bon punt acabi el desplegament de l'actual si ja està ben planificada i amb una ampliació de pressupost menys important que en el cas de la subproposta 1.

Avantatges:

S'aconseguiria millorar les prestacions de la xarxa únicament posant més equipaments a les torres actuals existents, de tal manera que el servei rebut per part de l'usuari milloraria i s'acostaria més al servei que poden rebre els usuaris d'ADSL.

No suposaria riscos, ja que la tecnologia ja és àmpliament coneguda i ja s'ha aconseguit molta experiència amb l'actual desplegament, i amb una bona planificació es podria saber amb certesa la capacitat que es podria arribar a oferir.

Inconvenients:

La tecnologia emprada actualment (WiMAX fix) comença a entrar en desús, tot i que encara és vàlida. Però cada vegada els fabricants invertiran menys en equipaments per aquesta tecnologia i això repercutirà amb la possibilitat d'obtenir nous productes més sofisticats.

Si l'ampliació de la xarxa passa per augmentar el nombre de sectors de cada estació base, es corre el risc que en les estacions base que compten amb un nombre alt de sectors, aquesta actualització no es pugui dur a terme, i els usuaris d'aquestes no percebin la millora en el servei. La solució més viable seria construir alguna estació base més i repartir el territori en concret entre més d'una estació, però s'incrementaria el cost de l'ampliació.



9 Epíleg

El 17 de juny de 2009, el Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç (Mityc) va presentar al Consell Assessor de Telecomunicacions i Societat de la Informació un projecte per atorgar el dividend digital a altres serveis diferents de la televisió com la banda ampla en mobilitat.

Actualment s'està utilitzant la banda de freqüències reservada al servei de televisió (de 470 a 862 MHz) per a subministrar tant TDT com televisió analògica, però amb l'apagada analògica hi haurà una banda de freqüències que quedarà lliure, aquesta alliberació de freqüències s'anomena dividend digital.

Feia temps que es parlava sobre quins serveis es podrien prestar a les freqüències alliberades, i aquest 17 de juny, el Ministeri d'Indústria va fer públic el següent: Les freqüències de 790 a 862 MHz (canals radioelèctrics del 61 al 69) quedaran reservades per a altres usos, com la banda ampla en mobilitat, com a màxim a partir de l'1 de gener del 2015 seguint el Quadre Nacional d'Atribució de Freqüències (CNAF).

Aquesta decisió del Mityc pot tenir una importància cabdal a llarg termini, ja que l'atenuació a aquesta banda de freqüències és menor que en les actualment utilitzades pels serveis de mobilitat, el que implica un abast major i la necessitat de desplegar menys torres per cobrir el mateix territori i la possibilitat d'arribar fins on ara no sortia rentable.

Llavors, cal decidir per part de la Generalitat i la STSI si s'espera fins al 2015 per desplegar banda ampla mòbil rural a les freqüències que quedaran lliures o es du a terme alguna altra acció abans.

Tot i que és possible que en aquestes freqüències, l'abast sigui prou gran perquè la iniciativa privada arribi fins on ara encara no ha arribat i les actuacions necessàries per part de la Generalitat siguin menors.

10 Bibliografia

GUADALUPI, M. Xarxes sense fils WiMAX: Aplicacions i projectes en el curs *Xarxes sense fils WiMAX: Aplicacions i projectes*, Col·legi Oficial / Associació Catalana Enginyers de Telecomunicació. Barcelona, 2008

CARREÑO, H. Introducción a los sistemas OFDM en el seminari *Nuevas Soluciones de Medida para Sistemas Inalámbricos MIMO: LTE y WiMAX*, Agilent Technologies. Barcelona, 2009

SERRANO, S. Canales SISO y MIMO en el seminari *Nuevas Soluciones de Medida para Sistemas Inalámbricos MIMO: LTE y WiMAX*, Agilent Technologies. Barcelona, 2009

SERRANO, S. Verificación en Sistemas MIMO LTE y WiMAX en el seminari *Nuevas Soluciones de Medida para Sistemas Inalámbricos MIMO: LTE y WiMAX*, Agilent Technologies. Barcelona, 2009

HONG-JIK KIM, Ph. D. SC-FDMA for 3GPP LTE uplink, 2006.
(http://bungae.kaist.ac.kr/seminar/Material/2006/06_Jeju/0220_%EA%B9%80%ED%99%8D%E C%A7%81.pdf)

JAYALATH, C; DHAMMIKA, R. & ATHAUDAGE, N. On the PAR reduction of OFDM signals using multiple signal representation, a *Proceedings 14th IEEE Conference on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 799-803. Beijing, 2003.
(<http://eprints.qut.edu.au/13778/1/13778.pdf>)

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Nota resumen sobre las respuestas recibidas a la consulta pública sobre el uso de la banda de frecuencias 2.500 a 2.690 MHz y sobre posibles nuevas modalidades de explotación de las bandas de frecuencia de 900 MHz, 1.800 MHz y 3,5 GHz, a BOE Setembre 2008.
(http://www.mityc.es/telecomunicaciones/Espectro/consulta/Resumen/Consulta_publica.pdf)

NIETO, J.W. Constant-Envelope Variations of OFDM and OFDM-CDMA, RF Communications Division, Harris Corporation. Febrer 2008.
(http://www.hfindustry.com/Feb08/Presentations/hfia_feb_2008_jwn.pdf)

RUMNEY, M. 3GPP LTE: Introducing Single-Carrier FDMA, a *Lead Technologist*, Agilent Technologies, Gener 2008.
(<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7898EN.pdf>)

Enllaços d'interès

- <http://www.wimaxforum.org>
- <http://www.iso.org>
- <http://www.aulabalear-fp.com>
- http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/cellular_concepts/tdd-fdd-time-frequency-division-duplex.php
- <http://abhi.taralekar.googlepages.com/foundationtechnologies>
- <http://www.conniq.com/WiMAX/tdd-fdd.htm>
- <http://edocs.soco.agilent.com/display/ads2008U1/LTE+TDD+UL+Src>
- http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse473-05/ftp/i_bwir/
- <http://wirelesscafe.wordpress.com/2009/04/07/what-is-single-carrier-fdma-sc-fdma/>
- http://mobilesociety.typepad.com/mobile_life/2007/05/an_introduction.html
- <http://www.scribd.com>
- <http://www.monografias.com/trabajos13/guiadeim/guiadeim.shtml#intro>
- <http://vlex.com>
- <http://www.idg.es/comunicaciones/impart.asp?id=117311>
- <http://www.coit.es>
- <http://www.elmundo.es/suplementos/ariadna/2009/418/1239487203.html>
- <http://www.conniq.com/WiMAX/fdm-ofdm-ofdma-sofdma-03.htm>

- http://es.lge.com/about/press_release/detail/PRE|MENU_6652_4.jhtml
- <http://www.patentstorm.us/patents/7023900/description.html>
- <http://albentia.wordpress.com>
- <http://www.idg.es/cio/mostrarArticulo.asp?id=194392&seccion=>
- <http://www.uoc.edu/in3/dt/20086/index.html>
- http://www.elpais.com/comunes/2005/guia_adsl/historia.html
- <http://www.adslzone.net/article705.html>
- <http://www.infobae.com/contenidos/391744-100884-0-Exigir%E1n-que-se-cumpla-velocidad-real-del-ADSL>
- http://www.elpais.com/comunes/2005/guia_adsl/historia.html
- <http://www.internautas.org/html/4071.html>
- <http://www.umtsforum.net>
- <http://www.3gpp.org/>
- <http://www.redstelecom.es/Noticias/200807170004/BT-planea-la-mayor-inversion-en-Banda-ancha-super-rapida-.aspx>
- <http://www.uoc.edu/in3/dt/20086/index.html>
- http://es.wikitel.info/wiki/Banda_ancha
- <http://bandaancha.eu/articulo/6030/es-banda-ancha-256-kilobits-segundo>
- <http://www.adslzone.net/estudio-velocidad-bandaancha-movil-3g.html>

11 Annexos

11.1 Normativa Estatal

La principal normativa d'interès en l'àmbit d'aquest document és la referent al Quadre Nacional d'Atribució de Freqüències (CNAF, per les sigles en castellà), a continuació s'inclouen les notes UN més destacables:

UN - 41 Bandas 880-915 MHz y 925-960 MHz (GSM)

Las bandas de frecuencias 880-915 MHz y 925-960 MHz se destinan al sistema de telefonía móvil automática GSM (Ver figura 24).

La utilización residual de las bandas de frecuencia 914 - 915 MHz y 959 - 960 MHz (ver figura 24) por teléfonos sin hilos, no adaptados a la UN-104 (CT1-E), quedará supeditada a su compatibilidad electromagnética con el GSM bajo la consideración, en cualquier caso, de uso común.

Los terminales del sistema GSM están excluidos de la necesidad de licencia individual conforme a los términos de la Decisión de la CEPT ERC/DEC/(98)20.

A partir de la fecha de entrada en vigor de la Decisión de la Comisión Europea sobre "armonización de las bandas de 900 MHz y de 1800 MHz para sistemas terrestres capaces de proporcionar servicios de comunicaciones electrónicas paneuropeas", en estas frecuencias podrán también prestar servicio otros sistemas capaces de proporcionar comunicaciones electrónicas paneuropeas como el sistema UMTS con interfaz radio según las especificaciones indicadas en el anexo a la citada Decisión.

Así mismo, a partir de la fecha de entrada en vigor de la Decisión citada en el párrafo anterior, considerando la progresiva evolución de las necesidades de comunicaciones y la aparición de nuevas tecnologías, parte de las bandas de frecuencias antes citadas podrán ser destinadas a otros sistemas terrestres para la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas paneuropeas, siempre que se garantice la coexistencia con los servicios indicados en esta nota.

UN - 51 Aplicaciones ICM por encima de 2,4 GHz

Bandas de frecuencias designadas para aplicaciones industriales, científicas, y médicas (Aplicaciones ICM, no servicios de radiocomunicaciones).

- 2400 a 2500 MHz (frecuencia central 2450 MHz)
- 5725 a 5875 MHz (frecuencia central 5800 MHz)
- 24,00 a 24,25 GHz (frecuencia central 24,125 GHz)
- 61,00 a 61,50 GHz (frecuencia central 61,250 GHz)

Los servicios de radiocomunicaciones (notas UN-85, 86, 130 y 133) que funcionen en las citadas bandas deberán aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones.

La utilización de estas frecuencias para las aplicaciones indicadas se considera uso común.

UN - 52 Banda de 2500 a 2700 MHz

La CMR-2000 ha identificado, entre otras, la banda de frecuencias 2500-2690 MHz para futuras ampliaciones de los sistemas de tercera generación IMT-2000/UMTS y la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(02)06 ha designado dicha banda de frecuencias para ser utilizada por los sistemas UMTS/IMT-2000, y deberá estar disponible para ello a partir del 1 de enero de 2008 según las necesidades del mercado.

La utilización de la banda 2500-2690 MHz para la componente terrenal de dichos sistemas se efectuará de acuerdo al plan armonizado según la Decisión ECC/DEC/(05)05.

Ello implica que el uso futuro de dicha banda para el Servicio Fijo que venía haciéndose siguiendo la canalización que aparece en la Nota UN-90 debe ser abandonado, y por tanto no se otorgaran nuevos títulos habilitantes en dicha banda salvo en casos excepcionales en que se acepte el carácter temporal de las mismas.

Los títulos habilitantes concedidos con anterioridad en el conjunto de la banda de 2500 a 2700 MHz no se renovarán a partir del 1-1-2008 y podrán ser canceladas a partir de esa fecha en función de las necesidades del mercado.

En la banda entre 2500 y 2700 MHz se autorizan utilizaciones de enlaces móviles de televisión (ENG) con categoría de servicio secundario hasta el 1 de enero de 2008, fecha prevista para el abandono de enlaces ENG en esta banda en función de las necesidades de mercado (ver UN-50).

UN - 85 Banda 2400 a 2483,5 MHz

La banda de frecuencias 2400 - 2483,5 MHz, designada en el Reglamento de Radiocomunicaciones para aplicaciones ICM, podrá ser utilizada también para los siguientes usos:

a) Acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local para la interconexión sin hilos entre ordenadores y/o terminales y dispositivos periféricos para aplicaciones en interior de recintos.

Las condiciones técnicas de uso han de ser conforme a la Decisión ERC/DEC/(01)07 y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, Anexo 3. La potencia isotrópica radiada equivalente total será inferior a 100 mW (p.i.r.e.).

En cuanto al resto de características técnicas de estos equipos, se indica como norma de referencia la ETSI EN 300 328.

Esta utilización se considera de uso común.

b) Dispositivos genéricos de baja potencia en recintos cerrados y exteriores de corto alcance, incluyendo aplicaciones de video.

La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será inferior a 10 mW y la norma técnica de referencia es la ETSI EN 300 440. Resto de características de estos dispositivos serán de acuerdo a la Recomendación 70-03 (anexo 1).

Esta utilización se considera de uso común.

UN - 92 Canalización SF en 26 GHz

Canalización de la banda de frecuencias 24,5 - 26,5 GHz para ser utilizada por el servicio fijo (SF) en radioenlaces punto a punto y punto a multipunto.

Se definen los siguientes términos:

F_n = frecuencia de cada radiocanal de la mitad inferior de la banda

F'_n = frecuencia de cada radiocanal de la mitad superior de la banda

F_r = frecuencia de referencia: 25501 MHz

Las frecuencias (MHz) de los distintos radiocanales se expresan mediante las relaciones siguientes según el paso de canalización:

$$\left. \begin{array}{l} F_n = F_r - 1008 + 112n \\ F'_n = F_r + 112n \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{para pasos de 112 MHz} \\ n = 1, \dots, 8 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_n = F_r - 980 + 56n \\ F'_n = F_r + 28 + 56n \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{para pasos de 56 MHz} \\ n = 1, \dots, 16 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_n = F_r - 966 + 28n \\ F'_n = F_r + 42 + 28n \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{para pasos de 28 MHz} \\ n = 1, \dots, 32 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_n = F_r - 959 + 14n \\ F'_n = F_r + 49 + 14n \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{para pasos de 14 MHz} \\ n = 1, \dots, 64 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_n = F_r - 955,5 + 7n \\ F'_n = F_r + 52,5 + 7n \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{para pasos de 7 MHz} \\ n = 1, \dots, 128 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_n = F_r - 953,75 + 3,5n \\ F'_n = F_r + 54,25 + 3,5n \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{para pasos de 3,5 MHz} \\ n = 1, \dots, 256 \end{array}$$

En estas condiciones la separación T_x / R_x es de 1008 MHz y la canalización indicada se representa en la figura 17, partes a), b), c), d), e), y f).

Esta canalización es la indicada en el anexo B de la Recomendación T/R-13/02 de la CEPT. Al objeto de unificar la diversidad de usos en esta banda se dispone su utilización de la siguiente forma:

Las subbandas 24,549 - 24,717 GHz y 25,557 - 25,725 GHz se destinan para el establecimiento de sistemas de acceso radioeléctrico mediante enlaces punto a multipunto utilizando los siguientes canales:

- 3 radiocanales inferiores del apartado b) figura 17
- 6 radiocanales inferiores del apartado c) figura 17
- 12 radiocanales inferiores del apartado d) figura 17
- 24 radiocanales inferiores del apartado e) figura 17
- 48 radiocanales inferiores del apartado f) figura 17

Las subbandas 24,717 - 25,445 GHz y 25,725 - 26,453 GHz se destinan para enlaces punto a punto utilizando los siguientes canales:

- 13 radiocanales superiores del apartado b) figura 17
- 26 radiocanales superiores del apartado c) figura 17
- 52 radiocanales superiores del apartado d) figura 17
- 104 radiocanales superiores del apartado e) figura 17
- 208 radiocanales superiores del apartado f) figura 17

En la figura 27 se indica gráficamente la distribución de bloques de esta banda para las aplicaciones indicadas anteriormente.

La banda de frecuencias 25,5 – 27 GHz está atribuida a título primario a los servicios de exploración de la Tierra por satélite e investigación espacial en el sentido espacio – Tierra.

Al efectuar nuevas asignaciones al servicio fijo debe tenerse en cuenta la atribución de la banda 26-27 GHz al servicio de investigación espacial en el sentido espacio-Tierra para las estaciones de Robledo de Chavela (004W14'57"/40N25'38"), Villafranca del Castillo (003W57'10"/40N26'35") y Cebreros (004W21'59"/40N27'15"), que gozan de protección radioeléctrica en virtud de Acuerdos Internacionales.

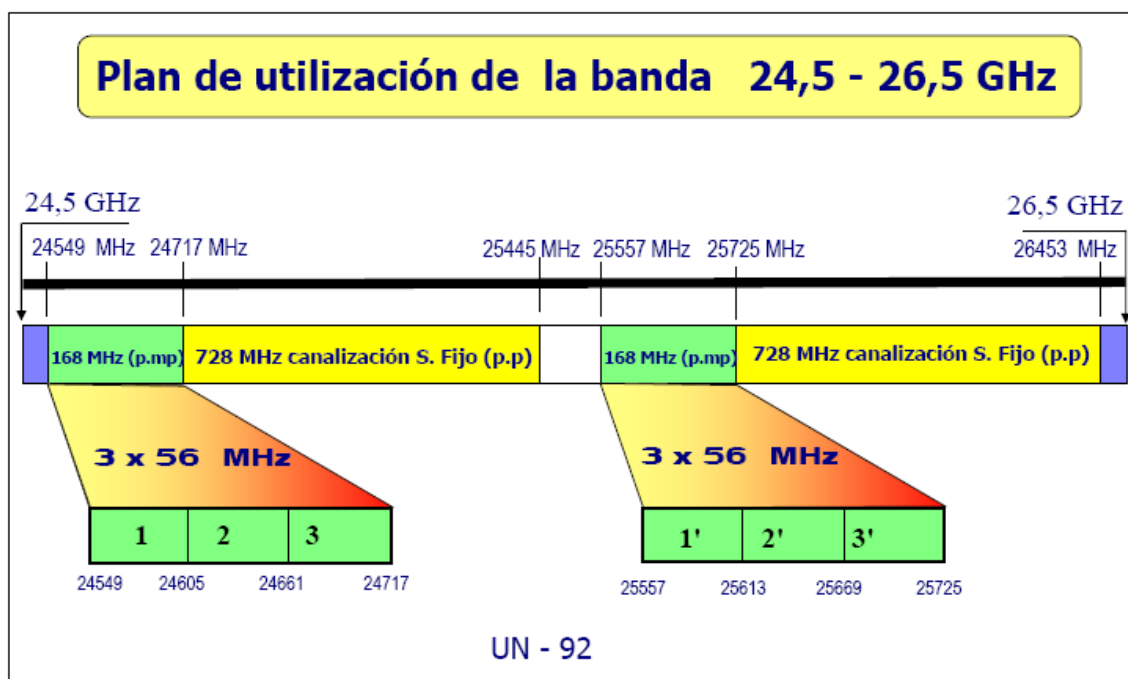


Figura 27

UN – 107 Banda 3400-3600 MHz

La banda de frecuencias de 3.400 a 3.600 MHz, con excepción de las subbandas que se indican más adelante, está destinada para el establecimiento de sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha.

En la figura 26 se representa el plan de utilización para estas aplicaciones formado por 4 bloques de 20 MHz asociados a otros cuatro bloques de 20 MHz con una separación entre ellos de 100 MHz.

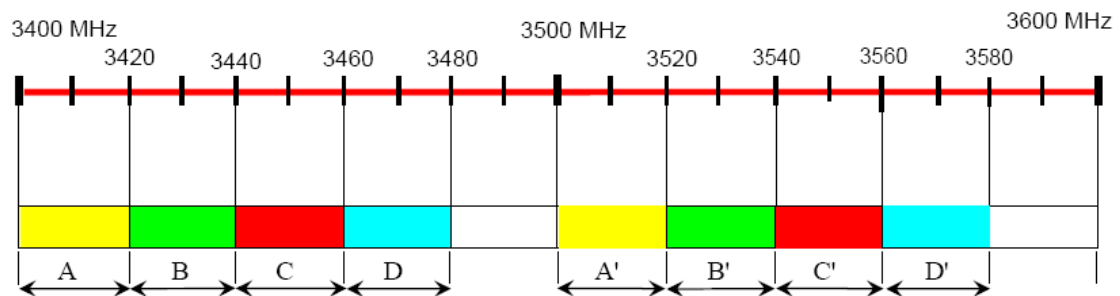
Las subbandas 3485-3495 MHz y 3585-3595 MHz se destinan para uso prioritario por el Estado en sistemas del Ministerio de Defensa para el servicio de radiolocalización en determinadas localizaciones, donde gozarán de la protección de un servicio primario.

Las subbandas de frecuencia 3480 a 3485, 3495 a 3500, 3580 a 3585 y 3595 a 3600 MHz, constituyen bandas de guarda para asegurar la compatibilidad entre los servicios de acceso inalámbrico de banda ancha y de radiolocalización, no obstante, una vez satisfechas las necesidades geográficas de frecuencias del servicio de radiolocalización, tanto estas bandas como las especificadas en el párrafo anterior, podrán ser destinadas al servicio de acceso inalámbrico de banda ancha en aquellas zonas geográficas en las que pueda garantizarse la compatibilidad entre ambos servicios.

PLAN DE UTILIZACION DE LA BANDA 3400-3600 MHz

UN-107

Disposición de bloques :



Distribución de los bloques para uso en todo el territorio nacional:

Bloque A-A': 20 MHz + 20 MHz con separación de 100 MHz
Bloque B-B': 20 MHz + 20 MHz con separación de 100 MHz
Bloque C-C': 20 MHz + 20 MHz con separación de 100 MHz
Bloque D-D': 20 MHz + 20 MHz con separación de 100 MHz

Figura 26

Acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local de altas prestaciones en la banda de 5 GHz.

Las bandas de frecuencia indicadas seguidamente podrán ser utilizadas por el servicio móvil en sistemas y redes de área local de altas prestaciones, de conformidad con las condiciones que se indican a continuación. Los equipos utilizados deberán disponer del correspondiente certificado de conformidad de cumplimiento con la norma EN 301 893 o especificación técnica equivalente.

Banda 5150 – 5350 MHz: En esta banda el uso por el servicio móvil en sistemas de acceso inalámbrico incluyendo comunicaciones electrónicas y redes de área local, se restringe para su utilización únicamente en el interior de recintos. La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será de 200 mW (p.i.r.e.), siendo la densidad máxima de p.i.r.e. media de 10 mW/MHz en cualquier banda de 1 MHz. Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia. Adicionalmente, en la banda 5250-5350 MHz el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia (TPC) que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. En caso de no usar estas técnicas, la potencia isotrópica radiada equivalente máxima deberá ser de 100 mW (p.i.r.e). Resto de características técnicas han de ajustarse a las indicadas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)08.

Las utilidades indicadas anteriormente se consideran de uso común. El uso común no garantiza la protección frente a otros servicios legalmente autorizados ni puede causar perturbaciones a los mismos.

Banda 5470 - 5725 MHz: Esta banda puede ser utilizada para sistemas de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas, así como para redes de área local en el interior o exterior de recintos, y las características técnicas deben ajustarse a las indicadas en la Decisión de la CEPT ECC/DEC/(04)08. La potencia isotrópica radiada equivalente será inferior o igual a 1 W (p.i.r.e.). Este valor se refiere a la potencia promediada sobre una ráfaga de transmisión ajustada a la máxima potencia. Adicionalmente, en esta banda de frecuencias el transmisor deberá emplear técnicas de control de potencia (TPC) que permitan como mínimo un factor de reducción de 3 dB de la potencia de salida. En caso de no usar estas técnicas, la potencia isotrópica radiada equivalente máxima (p.i.r.e) deberá ser de 500 mW (p.i.r.e).

Estas instalaciones de redes de área local tienen la consideración de uso común. El uso común no garantiza la protección frente a otros servicios legalmente autorizados ni pueden causar perturbaciones a los mismos.

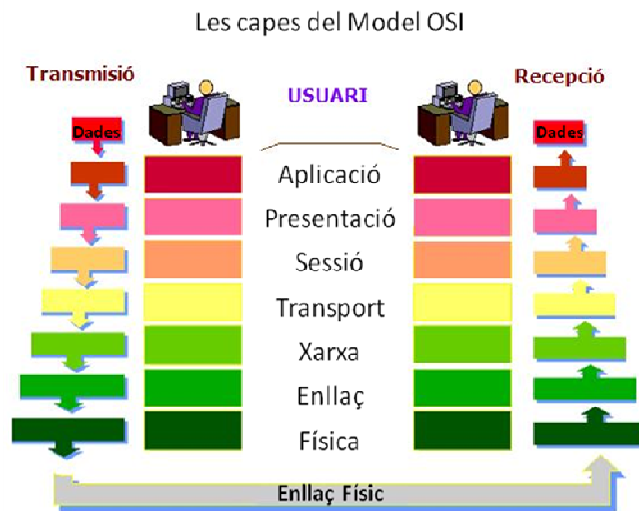
Los sistemas de acceso sin hilos incluyendo RLAN que funcionen en las bandas 5250-5350 MHz y 5475-5725 MHz deberán disponer de técnicas de reducción de ruido que cumplan con los requisitos de detección, operativos y de respuesta del Anexo 1 de la Recomendación UIT-R M.1652, con el fin de asegurar la compatibilidad con los sistemas de radiodeterminación. Las técnicas de reducción de ruido asegurarán que la probabilidad de seleccionar un determinado canal será la misma para todos los canales disponibles.

11.2 Arquitectura OSI de la ISO

La ISO (International Organization for Standardization), com el seu nom indica, és una organització internacional d'estandardització formada per 159 països.

L'any 1984 va publicar l'arquitectura o model de referència OSI (Open Systems Interconnection) per a l'Interconnexió de Sistemes Oberts.

Aquesta arquitectura es basa en la separació en 7 capes del conjunt de protocols necessaris per dur a terme una connexió/comunicació electrònica entre usuaris. Cada capa realitza la seva funcionalitat i li passa les dades a la següent, diferenciant clarament les tasques de cada una. Les capes de més rellevància per al present document són la física i la d'enllaç (primera i segona respectivament), per tant, s'explicaran més detingudament:



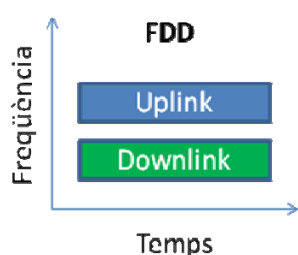
- 1 Capa física (physical layer): És la capa de més baix nivell i s'ocupa de les propietats físiques i de les característiques elèctriques dels diversos components, així com també d'aspectes mecànics de les connexions i terminals. Les seves principals funcions són:
 - Transmissió i recepció dels bits d'informació a través del medi utilitzat per a la comunicació, ja sigui aire, cable o fibra òptica.
 - Freqüència i velocitat de transmissió.
 - Control de col·lisió i de flux a nivell físic.
 - Establiment i terminació d'una connexió en un medi de comunicació.
 - Codificació de les dades de l'usuari (bits) en les corresponents senyals transmeses sobre el canal de comunicació (símbols) i a l'inversa (descodificació).
 - Sentit de la connexió, si és unidireccional o bidireccional:
 - Simplex: un únic sentit de la comunicació, anada o tornada, per exemple radio FM.
 - Half-duplex: anada i tornada alternats, es pot establir comunicació en els dos sentits, però no a la vegada.
 - Full-duplex: sentits simultanis, es pot emetre i rebre a la vegada, com per exemple la telefonia.
- 2 Capa d'enllaç de dades (data link layer): És la capa encarregada de transferir dades entre nodes de xarxa adjacents i sovint es divideix en dues subcapes:
 - LLC, Control lògic d'enllaç (Logical Link Control):
 - Defineix la forma en que les dades són transferides sobre el mitjà físic.
 - Proporciona fiabilitat (opcional): control de flux, reconeixement, retransmissió i control d'errors.
 - MAC, Control d'accés al medi (Medium Access Control):
 - Determina qui té permès l'accés al medi en un moment determinat. Aquesta funcionalitat és especialment important en medis compartits, com ara l'aire, per evitar que els usuaris s'interfereixin entre ells.
 - Determina on acaba una trama de dades i on comença la següent.
- 3 Capa de xarxa (network layer): S'encarrega d'activar connexions i de reenviar paquets de dades. Una de les tasques més importants és la de crear i actualitzar la taula de ruta. Les adreces de xarxa i el protocol IP pertanyen a aquest nivell.
- 4 Capa de transport (transport layer): S'encarrega de la segmentació de paquets de dades i evita la congestió d'aquests. Els protocols més utilitzats són el TCP i el UDP.

- 5 Capa de sessió (session layer): S'encarrega de la comunicació entre dos sistemes. Per evitar que s'interrompi la sessió, aquest nivell posa a disposició diferents serveis per sincronitzar l'intercanvi de dades. Entre d'altres, s'utilitzen punts fixes (Check Points) perquè la connexió de transport pugui ser restablerta sense haver d'enviar altre cop les dades des del principi en cas de desconnexió.
- 6 Capa de presentació (presentation layer): Converteix les dades d'un sistema en concret (per exemple ASCII) en una altra independent. De manera que diferents sistemes puguin canviar dades correctament. Les tasques de compressió de dades i d'encriptació pertanyen a aquest nivell.
- 7 Capa d'aplicació (application layer): Ofereix funcions de comunicació al programari, com per exemple: transmissió de dades, correu electrònic o login remot.

11.3 Sistemes de duplexat

Els sistemes de duplexat formen part de la capa física, i s'encarreguen de separar les transmissions segons el seu sentit, pujada o baixada. Tot i que només hi ha dos principals mètodes de duplexat i ja han sigut àmpliament estudiats, l'elecció d'un o l'altre pot tenir implicacions importants en sistemes multiusuari d'alta capacitat. Els sistemes de duplexat són:

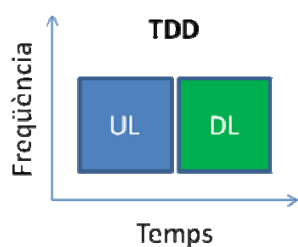
11.3.1 FDD (Frequency Division Duplexing)



El sistema de Duplexat per Divisió de Freqüència (FDD) consisteix en que la transmissió en sentits diferents és realitzada en freqüències diferents, de tal manera que no s'interfereixin.

A mode d'exemple, en l'estàndard GSM-900 de telefonia mòbil s'utilitza aquest sistema: hi ha una banda de freqüències (890–915 MHz) destinada a les comunicacions des dels terminals mòbils a les estacions base (enllaç de pujada o uplink) i una altra banda (935–960 MHz) destinada a les comunicacions des de les estacions base als terminals mòbils (enllaç de baixada o downlink).

11.3.2 TDD (Time Division Duplexing)



El sistema de Duplexat per Divisió en Temps (TDD) consisteix en que la transmissió en sentits diferents és realitzada en moments diferents, en un moment determinat es realitza la transmissió en sentit ascendent i en un altre instant, però ocupant la mateixa freqüència es realitza la transmissió en sentit descendent.

Es podria interpretar aquest sistema com a half-duplex, ja que la comunicació en sentits diferents no és ben bé simultània, però si la intercalació és prou ràpida, de tal manera que sigui transparent a l'usuari o a les capes superiors, es pot considerar com a full-duplex.

Un exemple de half-duplex TDD podrien ser els walkie-talkies (transceptors portàtils), on la comunicació consisteix en parlar o escoltar, però no totes dues coses a la vegada.

Per altra banda, un exemple de full-duplex TDD podrien ser els telèfons fixes sense fils que utilitzen l'estàndard DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications o telecomunicacions sense fils millorades digitalment), on la comunicació entre l'aparell telefònic i la base del telèfon consisteix en que durant un interval molt petit de temps transmet l'aparell, i al següent interval transmet la base. Però l'usuari té la sensació d'estar parlant i escoltant a la vegada, ja que aquests intervals són tant petits que són imperceptibles per l'oïda humana.

11.4 Mètodes d'accés al medi o d'accés múltiple

Els mètodes d'accés al medi o d'accés múltiple pertanyen a la subcapa MAC de la capa d'enllaç de dades, son els encarregats de controlar l'accés dels usuaris a un medi compartit, com podria ser l'aire o el cable d'una xarxa local on estiguin varis ordinadors connectats.

Aquests mètodes es poden dividir de diverses maneres. Una seria entre centralitzats i distribuïts: centralitzats és quan hi ha una estació mare que dona accés a la resta d'estacions i controla les seves prioritats, distribuïts és quan totes les estacions son iguals i normalment es decideix qui transmet per contesa (el que comença a transmetre abans una vegada aplicat l'algorisme d'accés múltiple). Hi ha mètodes, però, que poden funcionar de manera centralitzada o distribuïda.

Una altra manera d'organitzar els mètodes MAC seria entre aleatoris i deterministes:

11.4.1 Mètodes aleatoris

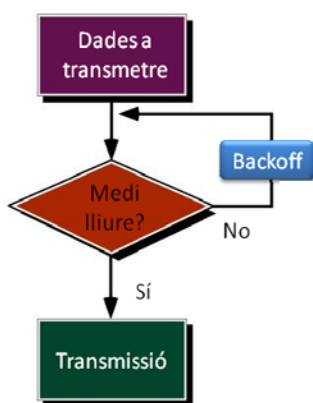
Els mètodes aleatoris de control d'accés al medi son aquells on no està determinat el moment de transmetre, es transmet en el moment en que es genera el paquet de dades o després d'una espera que sol ser aleatòria, depenent del protocol. Segons l'ocupació del medi en el moment de transmetre es decideix l'acció a dur a terme. Acostumen a ser orientats a paquets.

Hi ha multitud de protocols aleatoris d'accés al medi, però el protocol MAC d'interès en aquest document és el CSMA/CA ja que és el que utilitza la tecnologia Wi-Fi, nombrada en el document. També s'explicarà breument el protocol CSMA que va assentar l'origen del CSMA/CA:

11.4.1. a) CSMA (Carrier Sense Multiple Acces)

CSMA son les sigles en anglès d'Accés Múltiple per Detecció de Portadora. Aquest mecanisme s'acostuma a utilitzar quan el medi físic és cable de coure, on cada estació pot detectar fàcilment si alguna altra està transmetent, ja que en aquest cas s'origina una diferència de potencial en els cables.

Simplificant, el que fa el sistema és:



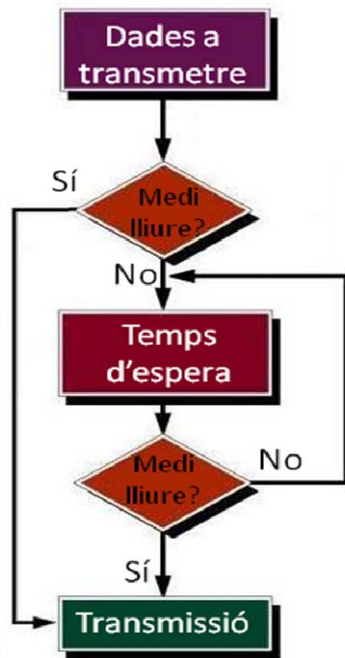
Quan a la capa MAC li arriba un paquet que s'ha de transmetre, s'escolta el medi (mirar si hi ha diferència de potencial al cable), llavors depenent del resultat de l'escolta es fa el següent:

- En cas de medi ocupat: s'espera un temps aleatori diferent per a totes les estacions (temps de backoff). Això és així per evitar que aquestes transmetin a la vegada un cop el medi ha quedat lliure. Passat aquest temps, es torna a escoltar el medi i es decideix segons el cas, però en el cas que el medi torni a estar ocupat l'espera aleatòria serà més llarga, el que implica que les dades del paquet en qüestió aniran perdent prioritat i serà més difícil de transmetre.
- En cas de medi lliure: Transmet les dades que li havien arribat.

Hi ha diverses variacions del CSMA (com CSMA-1Persistent o CSMA-pPersistent), que introdueixen probabilitats de transmissió per augmentar l'eficiència del protocol, ja que en el protocol descrit el medi resta sense utilitzar un percentatge alt de temps. Aquestes variacions no s'inclouen ja que no son objecte d'estudi d'aquest document.

11.4.1. b) CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces/Collision Avoidance)

Aquest mètode amb Evitació de Col·lisions (CA), és una adaptació del CSMA que intenta que les col·lisions no s'arribin a produir. És útil per a medis sense fils, on no es pot detectar si alguna altra estació està emetent mentre dura la nostra transmissió, si això succeeix les dues transmissions es perdran (col·lisió).



En el cas anterior de CSMA, no hi ha confirmació de recepció (Acknowledge o ACK), de tal manera que han de ser les capes superiors a la MAC les que s'encarreguin de les retransmissions. En CSMA/CA sí que hi ha ACK, si l'estació no rep l'ACK de l'anterior paquet enviat, suposa que s'ha perdut i el torna a enviar.

El funcionament del CSMA/CA més simple és bàsicament el mateix que el CSMA però amb lleugeres diferències: per a un mateix paquet a enviar, si la primera vegada que s'observa el medi, aquest està lliure, es transmet, però sinó, a partir de llavors, es fa l'espera encara que el medi aparegui com a lliure.

Aquest funcionament té una sèrie de problemes que degraden el throughput net (velocitat de transmissió final disponible per l'usuari), ja que els terminals ocults que no es veuen entre ells i es poden interferir sense saber-ho. També es pot haver enviat un paquet correctament, però si l'ACK ha col·lisionat, es tornarà a enviar el mateix paquet donat que no es pot saber quin dels dos paquets és el que ha fallat, si les dades o l'ACK.

Per solucionar aquests problemes, existeixen modes de funcionament opcionals: el DCF (Distributed Coordination Function), mode distribuït; i el PCF (Point Coordination Function), mode centralitzat.

El DCF consisteix en enviar paquets de control addicionals: RTS (Request to Send) i CTS (Clear to Send) que indiquen quan l'estació d'origen de les dades està llesta per transmetre (RTS) i quan l'estació destí està llesta per rebre (CTS), reservant en certa mesura el medi per a la transmissió. També s'introdueixen temps d'espera (DIFS, SIFS i EIFS) coneguts per a totes les bases a part dels temps de backoff. Amb aquestes mesures s'evita bona part de les col·lisions però el problema de terminals ocults continua sense resoldre.

En el mode PCF també s'utilitzen els senyals RTS/CTS i els temps d'espera, però al ser un mode centralitzat, les estacions només poden transmetre si l'Acces Point o AP (estació mare) dona permís, de tal manera que si l'estació mare té visibilitat amb tots els equips, es soluciona el problema dels terminals ocults.

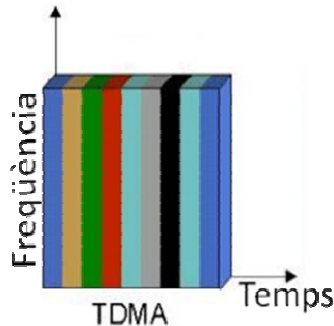
Aquests modes ajuden a disminuir considerablement el nombre de col·lisions, però al afegir senyals de control i temps d'espera, l'eficiència del protocol es baixa, a part que va degradant-se a mesura que s'incrementa en nombre d'usuaris. Per augmentar aquesta eficiència s'ha d'utilitzar mètodes deterministes, que tot i oferir més bones prestacions, també exigeixen més qualitat dels equips i un processat més complex, el que incrementarà el seu cost.

11.4.2 Mètodes deterministes

Aquests mètodes es caracteritzen perquè totes les bases o usuaris tenen definits i coneixen els seus canals exclusius de transmissió, ja siguin freqüències, intervals de temps (slots), etc. Normalment són orientats a connexió.

A continuació es descriuran els mètodes de més interès per a aquest document. L'elecció d'un o altre mètode té encara més implicacions que l'elecció del mètode de duplexat.

11.4.2. a) TDMA (Time Division Multiple Access)



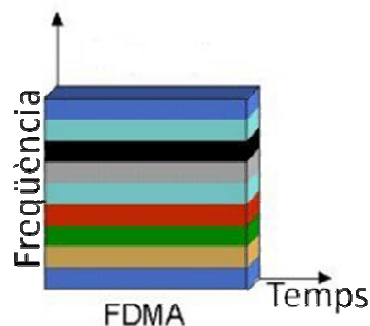
L'Accés Múltiple per Divisió de Temps (TDMA) és similar al TDD separant usuaris en comptes de sentits de transmissió. Es caracteritza per organitzar l'accés al medi mitjançant slots temporals (interval de temps de duració igual i definida).

Durant un slot temporal, un usuari concret pot transmetre al llarg de tot l'ample de banda assignat per al servei en qüestió. Al següent slot, serà un altre usuari el que tindrà l'accés.

Nomralment aquest mètode s'estructura en trames d'un nombre fixat d'slots. Els slots van numerats dins la trama i cada usuari sap quin slot té assignat, però tant, si no hi ha un mateix slot assignat a dos usuaris, no hi haurà interferències entre usuaris.

L'estàndard GSM utilitza trames de vuit slots per a cada freqüència i és l'estació base qui assigna aquests slots als usuaris. Per tant en una comunicació GSM, vuit usuaris poden estar utilitzant la mateixa freqüència, però es multiplexen en temps.

11.4.2. b) FDMA (Frequency Division Multiple Access)



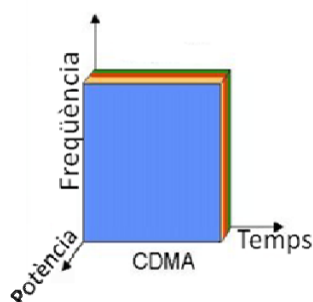
Aquest mètode (Accés Múltiple per Divisió en freqüència) multiplexa als usuaris en freqüència, cada usuari pot estar transmetent tota l'estona, però només pot utilitzar l'ample de banda d'un canal freqüencial.

Aquesta multiplexació es pot assimilar a la radio comercial de FM o AM, cada emissora està emetent durant tota l'estona, però a una freqüència diferent de les altres. Per poder rebre una emissora en concret, només cal seleccionar la seva freqüència. En aquest cas, les emissores serien els usuaris i la persona que escolta la radio l'estació base. No hi haurà interferències a no ser que les freqüències de dues

emissores estiguin massa juntes o ocupin massa ample de banda.

En el cas de GSM, també s'utilitza aquest mètode, havent-t'hi 125 freqüències portadores diferents que porten informació tota l'estona, dins de cada portadora hi ha els vuit slots temporals citats anteriorment. Per tant el mètode d'accés de l'estàndard GSM és TDMA/FDMA.

11.4.2. c) CDMA (Code Division Multiple Access)



En l'Accés Múltiple per Divisió de Codi, la multiplexació no és ni en temps ni en freqüència, sinó per codi, per tant, cada usuari tindrà un codi diferent dels altres.

Aquest mètode es basa en codis binaris ortonormals, el que significa que al multiplicar dos codis ortonormals diferents, el resultat és zero, i al multiplicar un codi ortonormal amb ell mateix el resultat és u.

Cada bit (o símbol) de cada usuari es multiplica pel seu codi i s'envia. Totes les informacions de tots els usuaris estan utilitzant tot l'ample de banda disponible durant tot el temps.

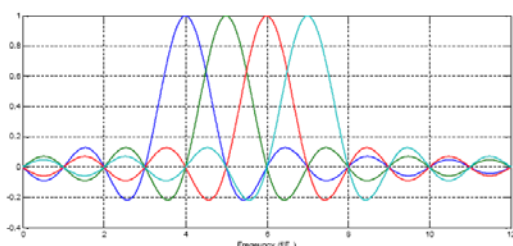
Però en recepció, es multiplica tota la senyal rebuda (de tots els usuaris) pel codi d'interès (es selecciona el codi igual que en TDMA es seleccionava l'slot temporal o en FDMA es seleccionava la freqüència).

Al multiplicar tota la senyal per un codi concret, tota la informació continguda en els altres codis, quedarà multiplicada per zero i per tant, desapareixerà. En canvi, la informació del codi pel que s'ha multiplicat, quedarà multiplicada per u i serà totalment interpretable per al receptor. Es podria dir que les informacions dels usuaris queden multiplexades en potència.

Perquè el resultat de la multiplicació de codis ortonormals sigui correcte, però, aquests han d'estar totalment sincronitzats, situació molt complicada en entorns mòbils. Per tant, els codis ortonormals només es fan servir en l'enllaç de baixada (l'estació base emetrà la informació dels diferents usuaris totalment sincronitzada). En l'enllaç de pujada s'utilitzen seqüències pseudo-aleatòries que son menys sensibles a la sincronització.

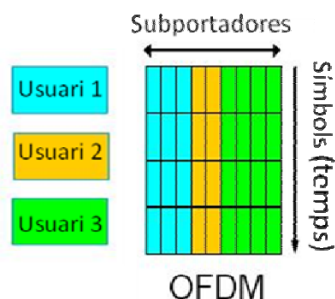
11.4.2. d) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

La Multiplexació per Divisió de Freqüències Ortogonals (OFDM) no és ben bé un sistema d'accés múltiple, sinó una modulació addicional que separa la informació entre diverses freqüències ortogonals entre sí (no s'interfereixen), es tracta d'una multiplexació.



Això és possible forçant que el màxim de potència d'una determinada portadora, coincideixi (en freqüència) amb els mínims de la resta, tal i com es mostra a la figura (cada color representa l'espectre d'una freqüència portadora diferent).

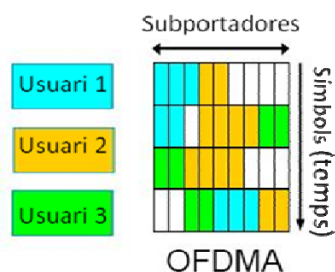
Aquesta acció es realitza mitjançant una transformada inversa de Fourier, on cada símbol a transmetre es divideix i es posa sobre diferents freqüències portadores (subportadores).



Aquesta divisió es pot utilitzar per posar diferents informacions d'un mateix usuari o també per posar informació de diferents usuaris, on cada usuari tindrà assignades un nombre determinat de portadores.

Aquesta modulació és utilitzada en diverses tecnologies des de fa temps, com per exemple: ADSL, PLC, Wi-Fi o DVB-T. I també s'està utilitzant en noves tecnologies com WiMAX, LTE o DVB-H (televisió digital mòbil).

11.4.2. e) OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

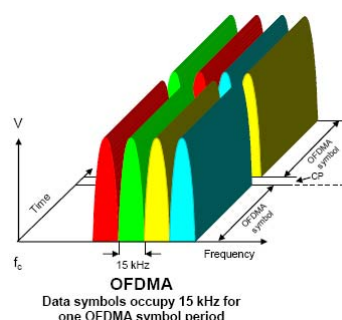


Aquest mètode és la versió multiusuari de l'OFDM, on es pot assignar qualsevol portadora o slot temporal (símbol) a qualsevol usuari.

L'Accés Múltiple per Divisió de Freqüències Ortogonals (OFDMA) pot assignar dinàmicament més o menys slots i subportadores, de tal manera

que s'aconsegueix molta flexibilitat.

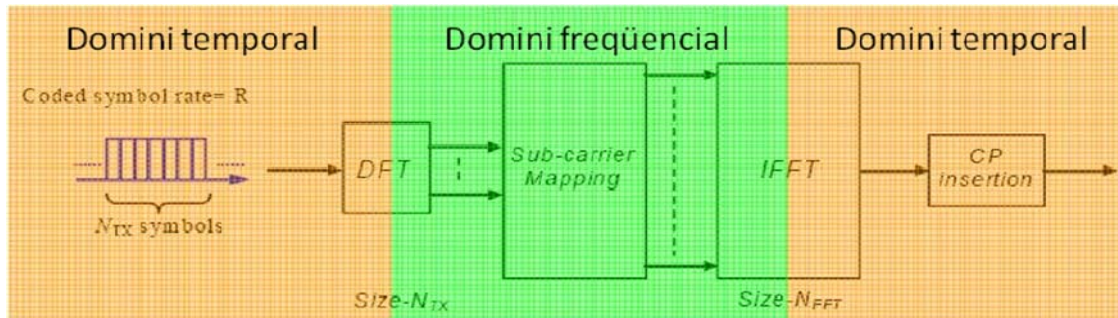
OFDMA té una versió més sofisticada que és el SOFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access), la qual permet variar el nombre de portadores i l'ample de banda de canal. Aquest mètode és utilitzat per l'estàndard 802.16e-2005 (WiMAX Mòbil).



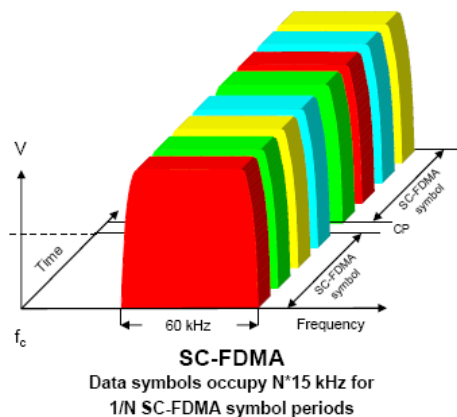
11.4.2. f) SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access)

L'Accés Múltiple per Divisió de Freqüències de Portadora Única (SC-FDMA) també es coneix com a DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread OFDM) o OFDM Estesa per Transformada Discreta de Fourier.

Aquesta modulació fa una Transformada Discreta de Fourier (DFT) dels símbols abans de dividir-los per posar-los sobre les subportadores mitjançant la transformada inversa, tal i com representa la següent figura:



Després de la transformada inversa, s'afegeix un prefix cíclic o "Cyclic Prefix" (CP) per tal d'assegurar que la senyal sigui continua entre un símbol i el següent. Aquesta tècnica és àmpliament utilitzada en multitud de modulacions, com per exemple l'OFDM.



El resultat és una modulació amb una única portadora però més ampla que en OFDMA, es podria dir que és una mescla entre l'OFDMA i el CDMA.

Aquesta modulació s'utilitza en l'enllaç de pujada o uplink de la tecnologia de telefonia mòbil de quarta generació LTE, que utilitza OFDMA en l'enllaç de baixada o downlink.